

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ADICIÓN
DE CAUCHO PULVERIZADO POR VÍA HÚMEDA**

AUTORES

ANTONIO ISRAEL PÁEZ GARCIA

ALBERTO ENRIQUE VALAREZO VARGAS

QUITO-ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por permitirme culminar mi carrera universitaria. A mis padres y hermano por haberme apoyado incondicionalmente y brindarme todo su amor. A mi abuelito por ser mi guía y mi ángel de la guarda. A mis profesores por compartir sus conocimientos e inculcar en mí valores fundamentales para mi educación.

Muchas gracias

Antonio Israel Páez García

Agradezco principalmente a Dios por haber sido mi guía espiritual, a quien en momentos difíciles me encomendé y fue el alivio necesario para levantarme y seguir adelante; a mis padres porque desde un principio fueron mi ejemplo perseverancia, constancia y sacrificio siendo mis mejores compañeros de vida, quienes impulsaron a lograr cada meta que me proponía, a mi hermana la cual fue mi compañía durante mi vida universitaria, sin duda fue un gran apoyo emocional y por ultimo pero no menos importante a todos los familiares, amigos, profesores que fueron guía para que hoy sea una persona formada no solo en conocimiento sino en valores.

Muchas gracias

Alberto Enrique Valarezo Vargas

DEDICATORIA

A Dios, por la vida y salud que me han permitido culminar esta etapa de mi vida. A mis padres, por haberme dado la vida y apoyarme en todo momento para alcanzar mi formación profesional. A mi hermano, a quien admiro mucho, por ser mi compañero incondicional y ejemplo a seguir. A mi novia y amiga, quién estuvo siempre presente en los buenos y malos momentos de mi carrera. Sobre todo a mi abuelito, que desde el cielo estará orgulloso de verme alcanzar esta meta; sé que para él hubiera sido algo especial como lo es para mí.

Antonio Israel Páez García

Este logro dedico especialmente a dos partes primordiales e indispensables en mi vida, que son Dios y mis padres, ya que en su conjunto han logrado hacer de mí la persona de hoy; además de brindarme el apoyo necesario, incondicional y desinteresado para culminar esta etapa de gran importancia en mi vida.

A mi hermana por ser parte de todo este camino de altos y bajos. Y con gran emotividad dedico este triunfo a mi hija Sarah, quien con su amor me impulsa a alcanzar sueños cada vez más grandes.

Alberto Enrique Valarezo Vargas

RESUMEN

Esta disertación de grado está dirigida al reciclamiento de caucho y mejoramiento de asfalto en sus propiedades para evitar el desgaste prematuro del mismo. En el ámbito que concierne al reciclaje del caucho en nuestro país todavía falta el apoyo financiero y técnico para impulsar al sector privado sin embargo la pocas industrias que se dedican al mismo, están logrando poco a poco tener su espacio en el sector de la construcción con un sin número de artículos como adoquines, topes de estacionamiento, pisos blandos, reductores de velocidad.

Por otro lado, al interesarnos en mejorar el asfalto con caucho estamos logrando que sea un ítem más en la renovación y reciclaje de llantas usadas, sin embargo y después de hacer ensayos y estudiar más a fondo la incorporación del caucho en el bitumen podemos decir que se necesitaría de un buen mezclado para así comprobar realmente los resultados de una posible mejora en la propiedades del asfalto; el éxito de obtener un buen mezclado se da a través de un molino trigonal que sea capaz de modificar el bitumen con el caucho sin embargo no se pudo determinar si alguna empresa contaba con tal implementación de equipos.

INTRODUCCION

Con el desarrollo actual de la infraestructura vial del país el MTOP es el que dicta las normas y especificaciones que rigen la construcción vial. Esto también ha permitido la introducción de nuevas normativas de mayor exigencia en la elaboración de mezclas asfálticas, por lo tanto la labor de los técnicos que construyen y controlan es más estricta para mejorar la calidad de las mezclas asfálticas producidas en planta.

La verificación de todas las operaciones de producción y colocación en sitio de las mezclas asfálticas deben cumplir lo que dicta la normativa, por lo tanto la calidad del pavimento terminado, como su servicio al público dependerán de que tanto se hayan cumplido los requisitos estipulados.

Los fines que conlleva un adecuado control es de que el sistema estructural del pavimento cumpla con las funciones previstas dentro de su vida útil, por lo tanto el diseño de un pavimento debe estar regido por el uso esperado de éste, un subdimensionamiento de un pavimento tiene consecuencias graves que lleve un gran volumen de tránsito que el que experimentará uno de un bajo volumen de tránsito.

Una buena calidad de pavimento dependerá de las propiedades, proporciones y calidad de los materiales, seguido de un adecuado proceso constructivo, por lo que actualmente los equipos que se utilizan para la fabricación y consecuente colocación en sitio, permiten optimizar tiempo y trabajo en la construcción vial. Una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación será óptima cuando cumplan las especificaciones que conllevan a dos métodos de diseño que actualmente son utilizados que son: el Método Marshall y el Método Hveem. Estos métodos son los más conocidos, el uso de cualquiera de éstos tiene sus ventajas y características, en todo caso los resultados de la utilización de los mismos son satisfactorios.

En nuestro medio existen pocas empresas que reciclan el caucho de las llantas, por lo que se hace indispensable aprender su comportamiento para poder reutilizarlo como alternativa para la industria vial. Una de las más graves hoy en día son las llantas que se desechan una vez culminada su vida útil, que generan un negativo alto impacto ambiental, por la manera de que son reutilizados como fuente de energía en hornos que contaminan el aire de la atmósfera. Una de las maneras reutilizables de las llantas luego del proceso de vulcanizarlo y triturado, es para modificar las propiedades del cemento asfáltico y

mezclas asfálticas, es por esto que actualmente se viene estudiando nuevas alternativas para el uso de materiales reciclables, que permitan la reducción de la contaminación ambiental y así poder modificar el asfalto con caucho. Lo que se busca con la reutilización del caucho es la de intentar mejorar las propiedades de la mezcla en distintas condiciones como son las de ahuellamiento, fatiga, envejecimiento y el de ser más resistente a las variaciones de temperatura, y así obtener resultados óptimos en su vida útil. Para esto se utiliza una serie de ensayos con parámetros que conlleven a comparaciones de propiedades químicas, físicas y de comportamiento de la mezcla, y así lograr modificaciones y usos en las obras viales más duraderas y económicas para el desarrollo vial de nuestro país.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar, analizar y cuantificar las propiedades mecánicas en las mezclas asfálticas para rodadura con el uso de caucho pulverizado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Seleccionar y caracterizar el material granular y el asfalto AC-20 para la mezcla asfáltica en caliente para capa de rodadura.
- Determinar el porcentaje óptimo de asfalto más caucho de la mezcla asfáltica en caliente para capa de rodadura.
- Establecer el comportamiento dinámico de la mezcla asfáltica en caliente sin caucho pulverizado.
- Establecer el comportamiento dinámico de la mezcla asfáltica en caliente con caucho pulverizado.

ALCANCE

Evaluar y calificar los diseños de estructuras de pavimentos con y sin caucho pulverizado buscando como parámetro inicial la serviciabilidad de la vía, la economía en lo referente a costos de construcción, y un período de vida útil más prolongado.

Identificar las interacciones ambientales negativas o positivas con la reutilización de los neumáticos desechados para reducir los niveles de contaminación que cada vez va en crecimiento por el aumento del parque automotor.

Evaluar y analizar los resultados obtenidos con la utilización del caucho pulverizado como ligante en la mezcla asfáltica en caliente y su posible uso y normalización para las carpetas asfálticas.

Formular procedimientos de diseño de mezclas asfálticas con la utilización de caucho pulverizado encaminados a su fabricación industrial para la construcción de vías.

Formular y definir un conjunto de procedimientos para la recolección y manipuleo de neumáticos desechados, ambientalmente adecuados y orientados a mitigar, prevenir, controlar y gestionar el medio ambiente.

Establecer opciones para la implementación de equipo incorporado a las plantas asfálticas en caliente que permita la utilización del caucho pulverizado y su evaluación costo vs beneficio.

Analizar y establecer si las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente mejoran con la adición de caucho pulverizado.

El proyecto a realizarse comprenderá la utilización de agregados de la mina de Pingulbi ubicado en la carretera Cuzubamba - Cayambe.

METODOLOGIA

El tema de la disertación de grado fue ideado con la finalidad de realizar una investigación con la utilización del caucho pulverizado como un elemento integrante del asfalto, el cual es un material contaminante del medio ambiente. Una manera de minimizar la contaminación es de reciclarlo y reutilizarlo con diferentes fines, en nuestro caso emplearlo en la infraestructura vial que actualmente en nuestro país se encuentra en un gran desarrollo. La propuesta es de modificar las propiedades del asfalto, y que los resultados obtenidos puedan ser analizados y tomados en cuenta para una eventual producción masiva en la elaboración de cementos asfálticos. La metodología a emplearse es la de realizar los ensayos de agregados que se obtienen de la mina de Pingulmi, y del asfalto (AC-20) que proviene de la refinería de Esmeraldas, para el diseño de una mezcla asfáltica sin y con adición de caucho.

En primer lugar se realizará los ensayos de los agregados y asfalto que deberán cumplir con las normativas vigentes como son AASHTO, ASTM, INEN y Especificaciones MTOP, que rigen para la construcción de infraestructura vial, éste mismo proceso se lo realizará con el asfalto modificado en los porcentajes propuestos. Una vez obtenido los resultados se analizara haciendo una comparación de asfalto normal vs asfalto modificado, mediante la elaboración de los informes y gráficas que demostraran la conveniencia o no de la utilización de este material. Una vez realizado los ensayos y su cumplimiento con las especificaciones para cada caso, se procederá al diseño de la mezcla asfáltica empleando el método Marshall, siguiendo la propuesta descrita anteriormente. Una vez aplicado el método Marshall que se emplea en nuestro país para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se analizará los resultados obtenidos de los ensayos de gravedad específica, prueba de estabilidad y flujo y análisis de densidad y vacíos, que resultaren de la utilización del asfalto normal y modificado con caucho. Los resultados deberán ser graficados, los cuales permitan obtener datos comparativos y analizarlos, para así lograr determinar conclusiones de si es favorable o no el caucho para la mezcla asfáltica. Por último se deberá emplear la metodología SUPERPAVE, que actualmente se está utilizando para mejorar el control de calidad de la estructura que compone un pavimento. Los ensayos realizados se lo harán con las mismas técnicas y alternativas mencionadas en los párrafos anteriores, que permitirán emitir conclusiones y recomendaciones generales para una posible utilización de esta propuesta, y así llegar a implementar dispositivos que permitan el empleo del caucho en plantas asfálticas.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN A LOS ELASTÓMEROS	16
1.1. Elastómeros	16
1.1.1. Tipo de Elastómeros	17
1.1.2. Especificaciones.....	18
1.1.3. Características de los Elastómeros empleados.....	20
1.1.3.1. Caucho Pulverizado.....	21
1.1.3.1.1. Generalidades	22
1.1.3.1.2. Sistemas de Tratamientos	23
1.1.3.1.3. Aplicaciones del caucho pulverizado	25
1.1.3.1.3.1. Caucho Regenerado	26
1.1.3.1.3.1.1. Origen y Composición	26
1.1.3.1.3.1.2. Obtención del caucho regenerado	27
1.1.3.1.3.1.3. Proceso y Producción del caucho regenerado	27
1.1.3.1.3.1.4. Caracterización del caucho regenerado.....	31
1.1.3.1.3.1.5. Propiedades físicas y químicas del caucho regenerado	32
CAPÍTULO II.....	34
2. CARACTERÍSTICAS Y ENSAYOS DE MATERIALES	34
2.1. Agregado Mineral	34
2.1.1. Origen y Composición	34
2.1.2. Obtención de Agregado	38
2.1.2.1. Proceso de Obtención del Agregado	38
2.1.3. Caracterización del Agregado.....	41
2.1.3.1. Agregado Grueso.....	42
2.1.3.1.1. Descripción y Ejecución de Ensayos.....	42
2.1.3.1.1.1. Gravedad Específica	42
2.1.3.1.1.2. Desgaste ensayo máquina de los ángeles.....	44
2.1.3.1.1.3. Desgaste a los sulfatos	45
2.1.3.1.1.4. Deletéreos	47
2.1.3.2. Agregado Fino.....	49
2.1.3.2.1. Descripción y Ejecución de Ensayos.....	49
2.1.3.2.1.1. Gravedad Específica	49
2.1.3.2.1.2. Desgaste a los sulfatos	50

2.1.3.2.1.3.	Equivalente de arena	51
2.1.3.2.1.4.	Contenido Orgánico	52
2.1.3.3.	Granulometría.....	53
2.1.3.3.1.	Granulometría de la Mezcla	53
2.1.3.3.2.	Granulometría del caucho.....	55
2.2.	Asfalto	56
2.2.1.	Tipos de Asfalto.....	56
2.2.1.1.	Cemento Asfáltico.....	56
2.2.1.2.	Asfalto Diluido	57
2.2.1.3.	Asfalto Emulsificado.....	57
2.2.2.	Obtención del cemento asfáltico.....	58
2.2.3.	Caracterización del Cemento Asfáltico	60
2.2.3.1.	Propiedades del Cemento Asfáltico	60
2.2.3.2.	Descripción y ejecución de ensayos.....	64
2.2.3.2.1.	Asfalto sin caucho	64
2.2.3.2.1.1.	Punto de Ablandamiento o Reblandecimiento.....	64
2.2.3.2.1.2.	Ductilidad.....	65
2.2.3.2.1.3.	Gravedad Específica	66
2.2.3.2.1.4.	Penetración.....	66
2.2.3.2.1.5.	Viscosidad.....	67
2.2.3.2.1.6.	Película Delgada	68
2.2.3.2.1.7.	Punto de Inflamación	69
2.2.3.2.2.	Asfaltos con caucho (1; 1,5; 2%).....	69
2.2.3.2.2.1.	Punto de Ablandamiento o Reblandecimiento.....	69
2.2.3.2.2.2.	Ductilidad.....	70
2.2.3.2.2.3.	Gravedad Específica	71
2.2.3.2.2.4.	Penetración.....	71
2.2.3.2.2.5.	Viscosidad.....	72
2.2.3.2.2.6.	Película Delgada	73
2.2.3.2.2.7.	Punto de Inflamación	73
2.2.3.3.	Cuadros de resultados.....	74
CAPÍTULO III	75
3.	INTRODUCCIÓN MEZCLAS ASFÁLTICAS	75
3.1.	Origen y Composición	77
3.2.	Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.....	82

3.3.	Mezclas asfálticas en caliente	87
3.4.	Diseño de mezclas asfálticas método Marshall.....	88
3.4.1.	Descripción del método del diseño de las mezclas.....	88
3.4.2.	Entorno del método.....	89
3.4.3.	Objetivo	89
3.4.4.	Determinación del gravedad específica	89
3.4.5.	Prueba de estabilidad y flujo.....	90
3.4.6.	Análisis de densidad y vacíos	91
3.4.7.	Determinación del contenido óptimo de la mezcla.....	92
3.5.	Porcentaje óptimo de la mezcla.....	96
3.6.	Ensayo de módulo dinámico elástico (ASSHTO TP 62-07).....	96
3.7.	Análisis de Resultados	100
3.7.1.	Resultados ensayos Asfaltos y Marshall.-	100
3.7.2.	Resultados Módulo Dinámico Elástico (ASSHTO TP 62-07)	107
CAPÍTULO IV		110
4.	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	110
4.1.	Costos Directos	110
4.1.1.	Materiales.-	110
4.1.1.1.	Agregados.....	110
4.1.1.1.1.	Agregados para la mezcla.....	111
4.1.1.1.2.	Asfalto	111
4.1.1.1.3.	Caucho	112
4.1.1.1.4.	Diésel	112
4.1.1.2.	Mano de obra.....	112
4.1.1.3.	Equipo	113
4.2.	Costos Indirectos.....	113
4.3.	Precio unitario total	113
CAPÍTULO V		116
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
5.1.	Conclusiones	116
5.2.	Recomendaciones.....	118
BIBLIOGRAFÍA		119

INDICE DE TABLAS

Tabla N 2.1 Cuadro de masas de muestra según tamaño de partículas	47
Tabla N 2.2 Cuadro de tamices según tamaño de partículas	48
Tabla N 2.3 Cuadro de masas según el tamaño de las partículas.	50
Tabla N 3.1 Tipos de agregados para mezcla asfáltica.....	79
Tabla N 3.2 Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.....	83
Tabla N 3.3 Causas y efectos de una poca durabilidad	84
Tabla N 3.4 Causas y efectos de la permeabilidad	84
Tabla N 3.5 Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad	85
Tabla N 3.6 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.....	86
Tabla N 3.7 Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento	87
Tabla N 3.8 Dimensiones de Probetas para ensayo “Módulo Dinámico”	99
Tabla N 3.9 Requerimientos carpeta asfáltica + caucho	101
Tabla N 3.10 Requerimientos para carpeta asfáltica + caucho.....	103
Tabla N 4.1 Análisis de mano de obra.....	115

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica N 3.1 Peso específico vs % de asfalto	93
Gráfica N 3.2 Estabilidad vs % de asfalto	93
Gráfica N 3.3 Flujo vs % de asfalto.....	94
Gráfica N 3.4 Vacíos vs % de asfalto	94
Gráfica N 3.5 % Vacíos llenos con asfalto vs % de asfalto	95
Gráfica N 3.6 % Volumen de agregado grueso mineral vs % de asfalto	95
Gráfica N 3.7 Peso específico vs % de asfalto + caucho.....	104
Gráfica N 3.8 Estabilidad vs % de asfalto + caucho	104
Gráfica N 3.9 Flujo vs % de asfalto + caucho	105
Gráfica N 3.10 Vacíos vs % de asfalto + caucho	105
Gráfica N 3.11 % Vacíos llenos con asfaltos vs % de asfalto + caucho	106
Gráfica N 3.12 % Volumen de agregado grueso mineral vs % de asfalto + caucho	106
Gráfica N 3.13 Modulo dinámico elástico a 10°C	108
Gráfica N 3.14 Modulo dinámico elástico a 25°C	108
Gráfica N 3.15 Modulo dinámico elástico a 35°C	109
Gráfica N 3.16 Modulo dinámico elástico a 50°C	109

INDICE DE FOTOS

Foto N 1.1 Recepción de los neumáticos recopilados	29
Foto N 1.2 Cortes laterales de neumáticos	29
Foto N 1.3 Extracción de la malla de alambre	30
Foto N 1.4 Trituración del neumático	30
Foto N 1.5 Producto final seleccionado.....	31
Foto N 2.1 Centro de acopio y triturado	39
Foto N 2.2 Trituradoras primarias, secundarias y bandas transportadoras según tamaño del agregado.....	39

Foto N 2.3 Clasificación del material para su posterior almacenamiento	40
Foto N 2.4 Trituradora terciaria.....	40
Foto N 2.5 Obtención del material deseado de la trituradora terciaria.....	41
Foto N 2.6 Ensayo gravedad específica.....	43
Foto N 2.7 Balanza electrónica.....	44
Foto N 2.8 Máquina de los ángeles	45
Foto N 2.9 Desgaste a los sulfatos.....	46
Foto N 2.10 Ensayo de sulfatos en proceso.....	47
Foto N 2.11 Ensayo de deletéreos	49
Foto N 2.12 Gravedad específica	50
Foto N 2.13 Sulfato de magnesio	51
Foto N 2.14 Ensayo equivalente de arena	51
Foto N 2.15 Máquina y muestras equivalentes de arena	52
Foto N 2.16 Ensayo contenido orgánico	52
Foto N 2.17 Tabla de valoración de contenido orgánico.....	53
Foto N 2.18 Material tamizado.....	54
Foto N 2.19 Tamizado del caucho.....	55
Foto N 2.20 Muestras de caucho pasante N° 50.....	55
Foto N 2.21 Ensayo punto de ablandamiento.....	65
Foto N 2.22 Ensayo ductilidad	65
Foto N 2.23 Ensayo Gravedad específica del asfalto	66
Foto N 2.24 Ensayo de penetración.....	67
Foto N 2.25 Viscosidad Rotacional (Brookfield).....	68
Foto N 2.26 Ensayo película delgada	68
Foto N 2.27 Ensayo punto de inflamación	69
Foto N 2.28 Ensayo punto de ablandamiento asfalto modificado.....	70
Foto N 2.29 Ensayo ductilidad asfalto modificado	70
Foto N 2.30 Ensayo gravedad específica asfalto modificado.....	71
Foto N 2.31 Ensayo penetración de asfalto modificado.....	72
Foto N 2.32 Ensayo viscosidad asfalto modificado	72
Foto N 2.33 Ensayo película delgada asfalto modificado	73
Foto N 2.34 Ensayo punto de inflamación asfalto modificado	74
Foto N 3.1 Acopio de materiales	80
Foto N 3.2 Tolvas para dosificación.....	80
Foto N 3.3 Banda transportadora.....	81
Foto N 3.4 Horno de mezclado.....	81
Foto N 3.5 Determinación de la gravedad específica en briquetas	90
Foto N 3.6 Prueba de estabilidad y flujo	91
Foto N 3.7 Análisis de densidad y vacíos.....	92
Foto N 3.8 Briquetas distintos porcentajes de mezcla.....	96
Foto N 3.9 Mezcla en molde para compactar giratoriamente.....	97
Foto N 3.10 Compactador giratorio.....	97
Foto N 3.11 Briquetas de 5200 gr.....	98
Foto N 3.12 Extracciones del núcleo de briquetas	98
Foto N 3.13 Núcleos extraídos	99
Foto N 3.14 Conjunto de ensayos de asfalto	100
Foto N 3.15 Modificación del asfalto con caucho.....	100

Foto N 3.16 Mezcla y obtención de briquetas modificadas con caucho	102
Foto N 3.17 Briquetas ensayadas	102
Foto N 3.18 Ensayo módulo dinámico elástico	107

INDICE DE FIGURAS

Figura N 1.1 Tipos de elastómeros	18
Figura N 1.2 Unidad estructural repetitiva del caucho natural	19
Figura N 1.3 Segmento de una cadena de polímero de caucho natural	19
Figura N 1.4 Ilustración esquemática de la vulcanización del caucho.	19
Figura N 1.5 Composición de los neumáticos en la UE.	20
Figura N 1.6 Composición Química de los neumáticos usados.	20
Figura N 1.7 Gestión de neumáticos usados en 2004.	21
Figura N 1.8 Caucho triturado.	22
Figura N 1.9 Niveles de tratamiento	24
Figura N 1.10 Caracterización de los productos según tecnologías empleadas	24
Figura N 1.11 Proceso de obtención de caucho pulverizado	28
Figura N 1.12 Tabla de ventajas del tipo de betunes.	32
Figura N 2.1 Ubicación geográfica de Órdenes de Suelos cantón Cayambe	35
Figura N 2.2 Cuadro de la clasificación de las rocas.	36
Figura N 2.3 Cuadro de fracciones según el tamaño del material	46
Figura N 2.4 Productos y temperaturas típicas de destilación	58
Figura N 2.5 Proceso típico de refinación	59
Figura N 2.6 Endurecimiento de Asfalto después de haber sido expuesto a temperaturas altas	62
Figura N 3.1 Volumetrías de mezclas asfálticas	79

INDICE DE ANEXOS

Anexo N 2.1 Informe de resultados gravedad específica de los agregados gruesos	121
Anexo N 2.2 Informe de resultados ensayo de abrasión	122
Anexo N 2.3 Informe de resultados ensayo desgaste a los sulfatos	123
Anexo N 2.4 Informe de resultados ensayo deletéreos	124
Anexo N 2.5 Informe de resultado gravedad específica en agregados finos (1/4)	125
Anexo N 2.6 Informe de resultado gravedad específica en agregados finos (arena natural)	126
Anexo N 2.7 Informe de resultados ensayo desgaste a los sulfatos	127
Anexo N 2.8 Informe de resultados ensayo equivalente de arena	128
Anexo N 2.9 Informe de resultados ensayo contenido orgánico	129
Anexo N 2.10 Informe de resultados análisis granulométricos	130
Anexo N 2.11 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico	131
Anexo N 2.12 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield	132
Anexo N 2.13 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 1%	133

Anexo N 2.14 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 1%	134
Anexo N 2.15 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 1.5%	135
Anexo N 2.16 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 1.5%	136
Anexo N 2.17 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 2%	137
Anexo N 2.18 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 2%	138
Anexo N 2.19 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 3%	139
Anexo N 2.20 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 3%	140
Anexo N 2.21 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 7%	141
Anexo N 2.22 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 7%	142
Anexo N 3.1 Informe de resultados diseño de la mezcla curva granulométrica	143
Anexo N 3.2 Informe de resultados diseño de la mezcla briquetas y rice	144
Anexo N 3.3 Informe de resultados gravedades específicas de la mezcla	145
Anexo N 3.4 Informe de resultados propiedades de la mezcla asfáltica	146
Anexo N 3.5 Informe de resultados mezcla para briquetas ensayo de módulo dinámico elástico	147
Anexo N 3.6 Informe de resultados ensayo módulo dinámico elástico asfalto normal	148
Anexo N 3.7 Informe de resultados ensayo módulo dinámico elástico asfalto modificado 1%	149
Anexo N 3.8 Informe de resultados ensayo módulo dinámico elástico asfalto modificado 1.5%	150
Anexo N 3.9 Informe de resultados ensayo módulo dinámico elástico asfalto modificado 2%	151
Anexo N 3.10 Informe de resultados comparativo de mezcla asfáltica normal y modificada	152
Anexo N 3.11 Informe de resultados gravedad específica de la mezcla	153
Anexo N 3.12 Informe de resultados frecuencias vs asfalto + % de caucho	154
Anexo N 4.1 Cálculo salario real operador de terminadora de asfalto	155
Anexo N 4.2 Cálculo salario real operador de cargadora	156
Anexo N 4.3 Cálculo salario real inspector de obra	157
Anexo N 4.4 Cálculo salario real operador de planta asfáltica	158
Anexo N 4.5 Cálculo salario real peón	159
Anexo N 4.6 Cálculo salario real operador calderista	160
Anexo N 4.7 Cálculo salario real operador rodillo autopropulsado	161
Anexo N 4.8 Cálculo salario real ayudante de maquinaria	162
Anexo N 4.9 Análisis de precios unitarios (APU) asfalto normal	163
Anexo N 4.10 Análisis de precios unitarios (APU) asfalto modificado	164

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN A LOS ELASTÓMEROS

Los elastómeros son el conjunto de materiales formados por polímeros que se encuentran unidos por medio de enlaces químicos adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada. La principal característica de los elastómeros es su elevada flexibilidad que disponen dichos materiales frente a cargas antes de fracturarse o romperse, por lo que limitan la rehabilitación del vertedero al ser difícilmente compactables. Este material tiene una desventaja desfavorable para la sociedad, ya que es un refugio ideal de insectos y roedores, y acumulan gases y lixiviados, frecuentes en los basureros.

1.1. Elastómeros

Los Elastómeros forman una gran familia de polímeros amorfos con una temperatura de transición vítrea baja, tienen una capacidad característica de sufrir grandes deformaciones elásticas sin ruptura, son blandos y tienen un bajo módulo elástico. El término elastómero se deriva de las palabras elastic y mero, la estructura de estos polímeros está muy retorcida (apretadamente torcida o rizada). Se estiran pero después regresan a su forma original una vez retirada la carga, también pueden entrelazarse; el mejor ejemplo de este proceso es la vulcanización a temperatura elevada del hule con el azufre, descubierta por C. Goodyear en 1839, y llamada así en honor a vulcano, el dios romano del fuego, na vez entrelazado el elastómero ya no puede ser reprocesado. Por ejemplo una llanta de automóvil que es un elastómero de molécula gigante, no puede ser ablandada y remodelada. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

A menudo los términos hule y elastómero se utilizan indistintamente, en general, se define un elastómero como capaz de recuperarse substancialmente en forma y tamaño una vez eliminada la carga, un hule se define como capaz de recuperarse con rapidez de grandes deformaciones.

Una propiedad de los elastómeros es su pérdida por histéresis al estirarse o comprimirse. Esta propiedad es deseable para absorber energía vibracional (amortiguamiento) y para reducir el nivel del ruido. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

La dureza de los elastómeros que se mide utilizando un durómetro, se incrementa con el entrelazamiento de las cadenas moleculares, igual que en caso de los plásticos, se pueden agregar una diversidad de aditivos en los elastómeros a fin de impartir propiedades específicas. Los elastómeros tienen una amplia gama de aplicaciones, por ejemplo, superficies antifricción y antiderrapantes, protección contra la corrosión y la abrasión el aislamiento eléctrico y el aislamiento contra choque y vibración los ejemplos incluyen las llantas, mangueras, burletes de interpie, calzado con suela de hule e industrial, recubrimientos, juntas, sellos, rodillos de imprenta y recubrimiento para pisos. Los materiales elastómeros son aquellos materiales que están formados por polímeros que se encuentran unidos mediante enlaces químicos, adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Para entender un poco mejor lo que es un elastómero lo podemos asimilar al siguiente ejemplo, imaginemos que encima de una mesa tenemos un conjunto de cuerdas entremezcladas unas con otras, cada una de estas cuerdas es lo que llamamos polímeros tendremos que realizar un esfuerzo relativamente pequeño si queremos separar las cuerdas unas de otras, ahora comenzamos a realizar nudos entre cada una de las cuerdas, apreciamos que entre más nudos realicemos más ordenado y rígido se vuelve el conjunto de las cuerdas, los nudos de nuestra cuerda es lo que representa los enlaces químicos con un cierto grado de nudos, o enlaces químicos necesitamos tensionar con mayor fuerza el conjunto de cuerdas con objeto de separarlas, además observamos que cuando tensionamos la longitud de las cuerdas aumentan y cuando dejamos de tensionar el tamaño de las cuerdas vuelven a la longitud inicial. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

1.1.1. Tipo de Elastómeros

Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar mucho si son sometidos a tensiones mecánicas, volviendo a sus dimensiones originales (o casi) cuando las tensiones cesan. A continuación, se esquematizan los diferentes tipos de cauchos.

Figura N 1.1 Tipos de elastómeros

Elastómeros	Cauchos naturales	
	Cauchos sintéticos	Estireno-butadieno (SBR)
		Polibutadieno (BR)
		Isopreno
		Etileno-propileno (EPM-EPDM)
		Isobutileno-isopreno (IIR)
		Cauchos de nitrilo (NBR)
		Policloropreno (neopreno)
		Cauchos fluorados (CFM-FKM)
		Cauchos de sílica (Q)
		Termoplásticos

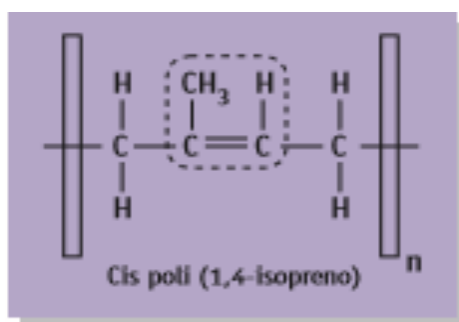
Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

1.1.2. Especificaciones

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso (elastómeros). Aunque se trata de un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica –que dificulta su extinción en caso de incendios- y no es degradable. Estas y otras características, constituyen factores que aconsejan la adopción de una norma que los regule teniendo en cuenta esas particularidades propias. A continuación se redactará las distintas especificaciones que se tomarán en cuenta para un correcto uso del elastómero, para lograr minimizar la contaminación ambiental por éste concepto. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

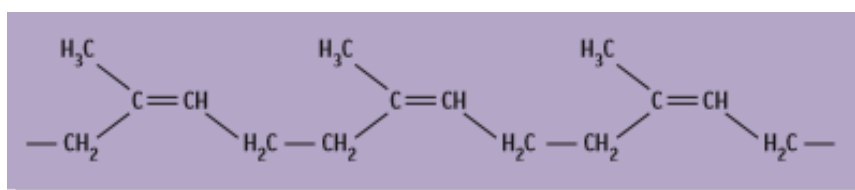
El Caucho natural (cis-poliisopreno), se extrae comercialmente a partir del látex del árbol *Hevea brasiliensis*, que se cultiva en plantaciones de regiones tropicales del sudeste asiático. La materia prima del caucho natural es un líquido lechoso denominado látex. La estructura de la goma natural es principalmente cis-poli (1,4-isopreno), un polímero de cadena larga, mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, sales inorgánicas además de otros componentes. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Figura N 1.2 Unidad estructural repetitiva del caucho natural



Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

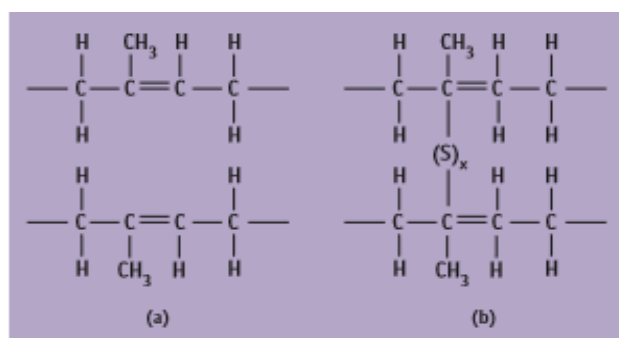
Figura N 1.3 Segmento de una cadena de polímero de caucho natural



Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

La vulcanización es el proceso químico por el cual las moléculas del polímero se unen unas con otras con enlaces químicos para dar una estructura tridimensional en la que la difusión molecular se encuentra restringida. En 1839 Charles Goodyear descubrió un proceso de vulcanización para el caucho natural utilizando azufre y carbonato de plomo como agentes químicos. Goodyear descubrió que cuando se calentaba una mezcla de caucho natural, azufre y carbonato de plomo el caucho pasaba de ser un material gomoso y blando a elastomérico. Este proceso fue patentado por Goodyear en el año 1844 (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Figura N 1.4 Ilustración esquemática de la vulcanización del caucho.



Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

1.1.3. Características de los Elastómeros empleados

Los elastómeros (cauchos) se componen esencialmente de caucho sintético o natural, negro de carbono, óxido de Zinc, acero, material textil y otros aditivos. La figura 6 proporciona un listado de las sustancias contenidas en los neumáticos utilizados en diferentes tipos de vehículos. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Figura N 1.5 Composición de los neumáticos en la UE.

<i>Material</i>	<i>Turismo %</i>	<i>Camión/autobús %</i>
Caucho/Elastómero	48	43
Negro de carbono	22	21
Metal	15	27
Textil	5	-
Oxido de Zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	6

Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Figura N 1.6 Composición Química de los neumáticos usados.

<i>Elemento/Compuesto</i>	<i>Contenido</i>	<i>Unidad</i>
C	70	%
Fe	16	%
H	7	%
O	4	%
Oxido de Zn	1	%
S	1	%
N ₂	0.5	%
Ácido esteárico	0.3	%
Halógenos	0.1	%
Ligandos cupríferos	200	mg/Kg
Cd	10	mg/Kg
Cr	90	mg/Kg
Ni	80	mg/Kg
Pb	50	mg/Kg

Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Según el estado del neumático después de su utilización, estos se pueden clasificar en:

- Neumáticos reutilizables
- Recauchutados (pueden ser recauchutados y las especificaciones técnicas determinantes son fijadas por las empresas especializadas.

- Neumáticos no reutilizables.

En el año 2004, la gestión de neumáticos usados se resume en la siguiente figura:

Figura N 1.7 Gestión de neumáticos usados en 2004.

<i>1ª Puesta en el mercado de reposición</i>	<i>Mil Ton</i>	<i>Mill. Unidades</i>
Neumáticos nuevos	213	19,3
N. Usados y Recauchutados	17	1,5
Total de N U generados	230	20,8

Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

1.1.3.1. Caucho Pulverizado

El reciclado de llantas para la obtención de caucho pulverizado, está dirigido a reducir en un altísimo porcentaje la polución y contaminación atmosférica. Se busca reducir al más bajo nivel las emisiones de compuestos tóxicos que se expulsan al aire por la quema de las llantas; La eliminación de neumáticos una vez usados, afecta el medio ambiente porque generalmente éstos terminan su vida útil en basureros incontrolados. El problema de la disposición final de los neumáticos fuera de uso no encontró hasta el presente una respuesta eficiente en el mundo. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

El caucho obtenido por el reciclado de llantas, tiene una gran variedad de usos con menor costo y mayor durabilidad que los materiales usados actualmente

Este producto se obtiene en granulometrías superiores a malla 20 y es materia prima de industrias como la del caucho y el calzado. En la actualidad, este material hace parte clave de desarrollos ecológicos en la industria de pavimentos que lo incorporan como agente modificador de asfalto. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Figura N 1.8 Caucho triturado.



Fuente: (KAHL, 2014)

1.1.3.1.1. Generalidades

La necesidad de reciclaje surge en los países occidentales por la acumulación de grandes cantidades de residuos. Los residuos, de forma general, son desechos que contaminan y afectan el medio ambiente, son recursos y energía desaprovechada. Por eso el mejor residuo es el que no se produce.

El 60% de la producción anual en la industria del caucho se dirige a la elaboración de neumáticos, y las dificultades para hacerlos desaparecer, una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medio ambientales de los últimos años en todo el mundo.

A partir de esto se han desarrollado procesos para el reciclaje y reutilización de los mismos, los cuales también son aplicables en los demás campos de las industrias del caucho no referido en la producción de neumáticos.

Existen métodos para conseguir reciclar coherentemente estos productos pero faltan políticas que incentiven a la recolección del mismo, consecuentemente implementando industrias dedicadas a la tarea de recuperar o eliminar, de forma limpia, los componentes. En la actualidad se puede utilizar diversos métodos para la recuperación de caucho y la destrucción de sus componentes peligroso, de los cuales se obtiene el caucho pulverizado que es un elemento muy favorable en el campo de la construcción. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

A nivel internacional existen varias industrias dedicadas al reciclaje del caucho inclusive de neumáticos, existiendo procesos de reciclaje más complejo y que se encuentran desarrollándose actualmente como: incineración con recuperación de energía, pirolisis,

termólisis entre los más conocidos. En nuestro país el manejo de desechos sólidos especialmente de neumáticos está en crecimiento, sin embargo se necesita más incentivo del estado para la creación de más industrias enfocadas para el reciclaje de los mismos y obtención de sus derivados. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

1.1.3.1.2. Sistemas de Tratamientos

Los sistemas de tratamientos para el reciclado del caucho dependerá de la tecnología a usarse para su recuperación y futura utilización, es por esto que a nivel mundial se ha investigado diferentes formas de reciclado en función de su empleo. En nuestro país el producto del reciclado se lo utiliza para la fabricación de múltiples elementos en reemplazo de materiales de fácil deterioro y de alto costo, como también para la construcción vial, y que más adelante se detallara éstas características y especificaciones para los distintos métodos de reciclado. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

- Tecnologías fuera de los sistemas de reciclado del material; se puede citar el denominado Buffing (suele ser una parte del proceso de recauchutado que no incluye a los neumáticos al final de su vida útil), recanalado y recauchutado.
- Tratamientos Mecánicos; proceso mecánico mediante el cual los neumáticos son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares. Entre ellos se encuentran fabricación de balas, troceado (ripping), trituración (cutting).
- Tecnologías de reducción de tamaño; se distingue entre el realizado a temperatura ambiente, criogénico y húmedo.
- Tecnologías de Regeneración; desvulcanización, recuperación del caucho (reclaiming), modificación superficial, modificación biológica.
- Otras tecnologías; Pirólisis-Termólisis.

En la Figura N 1.9., se clasifican las diferentes tecnologías de reciclaje según el nivel de tratamiento. Es interesante resaltar que dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar se empleará un nivel, varios o todos los niveles. Los datos se han obtenido de la Asociación Europea de Reciclaje de Neumáticos (ETRA), del año 2003.

Figura N 1.9 Niveles de tratamiento



Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

En la figura N 1.10 se proporciona un sumario de los materiales obtenidos, tamaño en milímetros y tecnologías más empleadas. Donde el término Todas las fuentes incluye; neumáticos pisados de camión y coche, neumáticos enteros de camión y coche, cámara de aire del neumático, mezcla de neumáticos coche/camión y otros neumáticos.

Figura N 1.10 Caracterización de los productos según tecnologías empleadas

Producto	Tamaño	Fuente	Tecnología
Neumático entero (W)		Neumáticos enteros coche- camión	Mecánica (M)
Trozos (X)	> 300 mm	Todas	Mecánica (M)
Tiras (shred) (S)	50-300 mm	Todas	Mecánica (M)/reducción a temperatura ambiente (A)
Astillas (chips) (C)	10-50 mm	Todas	Mecánica (M)/reducción a temperatura ambiente (A)
Granulado (G)	1-10 mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)
Polvo (P)	< 1 mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)
Polvo fino (F)	< 500 µm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénica (C)/ recuperación (R)/ desvulcanización (D)
Buffins (B)	0-40 mm	Neumáticos pisados camión-coche	Buffing (B)
Recuperado (reclaiming) (R)	Normalmente se suministra en bloques	Todas y granulado	Recuperación (R)
Desvulcanizado (D)	Depende del tamaño del polvo	Polvo de todas las fuentes	Reducción criogénica (C)/ temperatura ambiente (A)/ desvulcanización (D)
Pirólítico (Y)	< 10 mm	Todas	Pirólisis (P)/buffing (B)/ Reducción criogénica (C)
Productos de Carbón (Z)	< 500 µm	Pirólítico	Otras tecnologías (O)

Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

1.1.3.1.3. Aplicaciones del caucho pulverizado

En nuestro país se ha tomado muy en serio el reciclado de los neumáticos tomando en cuenta que estos son un factor de contaminación ambiental, su reutilización es fundamental ya que en nuestro medio se utilizan alrededor de 25000 llantas mensuales y que luego de su vida útil esto es perjudicial para el medio ambiente. Su utilización se lo diversifica en distintos ámbitos de la industria de la construcción y sobre todo últimamente en la construcción de vías. A continuación detallamos algunos ejemplos los cuales se viene utilizando al caucho pulverizado como elemento opcional para reducir el incremento de material desechable. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Rellenos ligeros, empleados como relleno de terraplenes se utilizan fundamentalmente sobre cimientos compresibles o de baja capacidad portante para limitar las cargas transmitidas al cimiento y los asentamientos totales.

Capas drenante en vertederos, para la recogida de lixiviados se establece la instalación de una capa de drenaje de espesor superior a 0.5 mm. Esta capa requiere una permeabilidad superior a 10^{-3} m/s y los rellenos de NFU troceados superan este requisito (10-2-10-1).

Sistemas de drenaje en carreteras, se emplean como material de relleno de capas y zanjas drenantes en carreteras, las propiedades elásticas del relleno proporcionan una protección mecánica a las tuberías.

En carreteras, lo que supone un gran mercado potencial capaz de consumir por si solo todo el neumático que se recicle. Las exigencias actuales en las carreteras hacen que sustituyamos el betún convencional por betunes modificados con polímeros.

La aplicación en la red de carreteras tiene grandes ventajas para el empleo del caucho reciclado; se están utilizando productos elastoméricos a los que el caucho reciclado podría sustituir o complementar, pueden utilizar grandes volúmenes en cada obra y dado que la construcción de carreteras se da en todo el territorio nacional, no se necesita transportarlo a grandes distancias. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Dentro de la utilización en carreteras las posibles aplicaciones son muy variadas, lo cual el neumático triturado puede ser usado para:

Modificar betunes de destilación para su empleo en mezclas bituminosas, fisuras, impermeabilizantes, material de juntas de dilatación, etc. ·

Sustitución parcial de materiales pétreos en la estructura de mezclas asfálticas para ser empleados en capas de base e intermedias, capas de rodadura de granulometría densa, mezclas porosas.

1.1.3.1.3.1. Caucho Regenerado

La generación de caucho vulcanizado es el proceso conocido de más frecuente uso para el reciclaje de caucho de desecho. Es de interés económico el poder aprovechar nuevamente el caucho constituyente de diversos objetos que por desgaste u otras razones han perdido su utilidad. Hay desechos constituidos solamente por caucho como ocurre en las suelas de calzado, los residuos del cortado de la goma espuma, las cámaras de vehículos, con las cubiertas de automóvil, las correas, llantas, etc. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

1.1.3.1.3.1.1. Origen y Composición

En las publicaciones que aparecen a partir de los años 80 el objetivo cambia de la recuperación a la alteración natural de la superficie del caucho, mediante el uso de ligante y desvulcanización superficial. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Se han encontrado 42 artículos (entre los años 2000-2006) que versan sobre el proceso de desvulcanización. Se han localizado dos grupos principales de investigación; la Universidad de Akron (Ohio) y el Instituto Tecnológico de la India. Centrándose principalmente en la desvulcanización ultrasónica. Los procesos de desvulcanización se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Procesos físicos: la desvulcanización se produce con la ayuda de una fuente de energía externa. Se encuentran los procesos mecánicos, termo-mecánicos, crio-mecánicos, microondas y ultrasónicos. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Procesos químicos: son los más empleados por las industrias. Los agentes químicos empleados son generalmente disulfuros o mercaptans orgánicos empleados durante un trabajo mecánico a elevada temperatura, también encontramos agentes inorgánicos y otro

tipo de procesos como puede ser la catálisis por transferencia de fase (PTC). (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Según esta clasificación se desarrollan a continuación algunos de los procedimientos mencionados:

- Desvulcanización química
- Desvulcanización térmica
- Desvulcanización mecánica
- Desvulcanización químico-mecánica
- Desvulcanización termo-mecánica.
- Desvulcanización termo-química

1.1.3.1.3.1.2. Obtención del caucho regenerado

El caucho regenerado que se va a utilizar proviene de la INDUSTRIA RECICLADORA DEL CAUCHO ECOCAUCHO S.A que se dedica actualmente a ayudar de manera activa y voluntaria al mejoramiento social y medio ambiental de la comunidad, a través de diferentes tipos de acciones. Esta empresa aporta a la comunidad en fabricación de topes de estacionamientos, rompe velocidades y divisores de vías haciendo que el caucho regenerado sea reutilizable en aspectos viables para la sociedad.

Hay que tener en cuenta que un neumático abandonado tarda en degradarse y desaparecer de la naturaleza más de 1.000 años. INDUSTRIA RECICLADORA DE CAUCHO ECOCAUCHO, aporta a reducir la emisión de millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera, equivalente a plantar 500.000 hectáreas de pinos y ahorrando millones de barriles, y la contaminación de la naturaleza. Esta empresa se encuentra ubicada en la Avenida Manuel Córdova Galarza, sector Pomasqui.

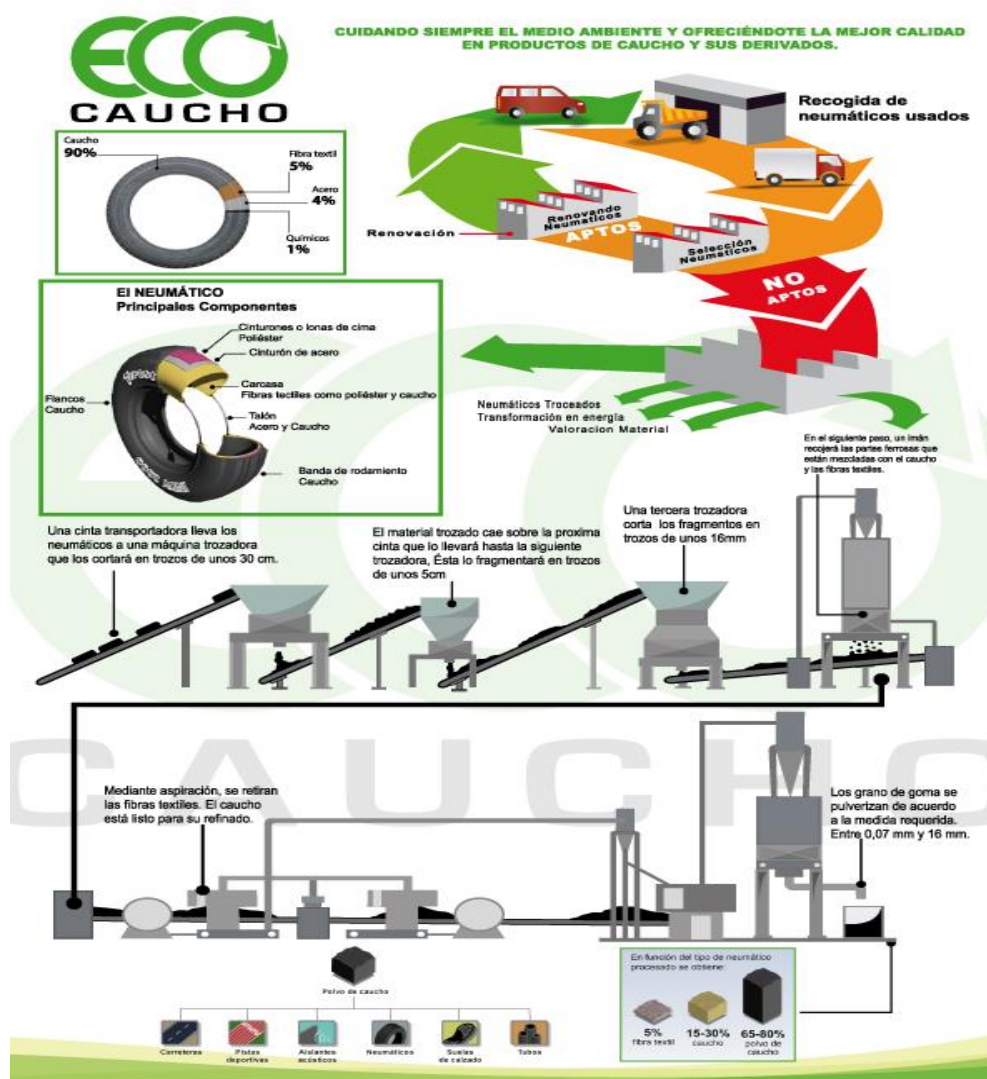
1.1.3.1.3.1.3. Proceso y Producción del caucho regenerado

El proceso de renovado de un neumático ya en desuso consiste en sustituir las gomas ya utilizadas y reconstruir su estructura original. Es un proceso técnicamente muy complejo,

pero con un perfecto conocimiento del producto, los medios de producción y control muy exigentes, se consigue un neumático con características similares al nuevo.

- La goma utilizada para la confección del dibujo contiene una fórmula especial de componentes diseñados para cada tipo de neumáticos, que le da alto rendimiento, manejabilidad y adherencia
- El dibujo final del neumático ECOCAUCHO se consigue por unas prensas sometidas a presión y temperatura.
- La goma de la carcasa es sometida al raspado y tratada con adhesivos especiales para que haya una perfecta adhesión a la goma de la banda de rodamiento. La estructura de la construcción interna de la carcasa se mantiene intacta en su estado original, para dar las mismas prestaciones que en su primera vez.

Figura N 1.11 Proceso de obtención de caucho pulverizado.



Fuente: (ECO Caucho, 2015)

A continuación detallaremos como es el proceso de trituración de caucho de neumáticos:

- **Recepción y clasificación de llantas fuera de uso**

Foto N 1.1 Recepción de los neumáticos recopilados



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación.

- **Cortes laterales de neumáticos**

Se procede a retirar los laterales de la llanta ya que en los mismos se encuentra una malla de alambre.

Foto N 1.2 Cortes laterales de neumáticos



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

- **Extracción de la malla de alambre**

Por medio de engranajes se retira el alambre del neumático

Foto N 1.3 Extracción de la malla de alambre



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

- **Trituración del neumático**

Mediante un sistema de bandas, el neumático calificado se tritura hasta obtener el caucho pulverizado que es su último proceso

Foto N 1.4 Trituración del neumático



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

- **Producto final seleccionado**

Se procede vía manual y automática a embolsar el producto ya triturado.

Foto N 1.5 Producto final seleccionado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

1.1.3.1.3.1.4. Caracterización del caucho regenerado

Uno de los objetivos de esta investigación es la utilización del caucho triturado como filler al betumen asfáltico, lo cual se basa en la fabricación de un ligante modificado (betún-caucho) mediante la adición de partículas de caucho de neumático reciclado a un betún convencional, bajo ciertas condiciones de mezclado. Al añadir las partículas de caucho al betún caliente éstas se reblandecen, absorben los componentes más ligeros del

betún y se hinchán (digestión) produciendo una disminución de la distancia entre partículas y un aumento de la viscosidad del ligante combinado. El betún resultante de la mezcla depende del tiempo y temperatura de reacción, temperaturas elevadas producen reacciones más rápidas y mayores hinchamientos de las partículas. La mezcla betún-caucho de neumático reciclado es inestable, para que el caucho no se segregue la mezcla ha de estar en continua agitación, por eso se fabrica in situ en el lugar de la obra. No obstante se han desarrollado procesos para estabilizar la mezcla y hacerla almacenable, permitiendo el traslado desde la central de fabricación al lugar de empleo. Estos desarrollos se basan en añadir estabilizantes (normalmente SBS) y compatibilizantes (principalmente aceites extendedores). En estos casos el contenido del caucho en el betún no pasaría del 10% (20% para betunes fabricados in situ) obteniéndose distintas prestaciones. Las principales diferencias entre ambos tipos se dan en la figura siguiente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Figura N 1.12 Tabla de ventajas del tipo de betunes.

<i>Tipos betunes en vía húmeda</i>	<i>Ventajas</i>
Betunes estables	<ul style="list-style-type: none"> • No necesitan empleo de maquinaria adicional. • Facilitan el control de calidad del producto. • Campo de aplicación definido y normalizado.
Betunes fabricados <i>in situ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Permiten ampliar el campo de los ligantes modificados. • Emplean mayores cantidades de residuo. • Menores traslados de materia prima y simplicidad de componentes. • Necesitan obras de un determinado volumen para rentabilizar traslado maquinaria.

Fuente: (Encarnación Cano Serrano, 2012)

1.1.3.1.3.1.5. Propiedades físicas y químicas del caucho regenerado

Las especificaciones enunciadas a continuación son referenciales puesto que la formulación puede cambiar dependiendo del origen del material regenerado.

El caucho regenerado tiene una asignación clase y tipo AA:

Tipo: temperatura de los ensayos 70°C

Clase: sin requisito al hinchamiento máximo en aceite N° 3

El propósito del sistema designado en la norma ASTM D2000, es ayudar a la elección de los productos de caucho, que dependen de la necesidad para cada ambiente específico. Son señalados por el TPO resistencia térmica (Primera letra) y por la CLASE resistencia del aceite (Segunda letra).

La resistencia térmica se basa en cambios de la fuerza extensible entre el $\pm 30\%$; el alargamiento a la rotura no menos que el 50%, y la dureza entre el ± 15 puntos después de 70 horas de envejecer en la temperatura especificada. La resistencia del aceite se basa en la inflamación del volumen de un elastómero después de una inmersión de 70 horas en el aceite ASTM N°3. (María Chiriboga, 2007)

CAPÍTULO II

2. CARACTERÍSTICAS Y ENSAYOS DE MATERIALES

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 a 95%, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. (Encarnación Cano Serrano, 2012)

Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la partícula
- Textura de la superficie
- Capacidad de absorción
- Afinidad con el asfalto
- Peso Específico

2.1. Agregado Mineral

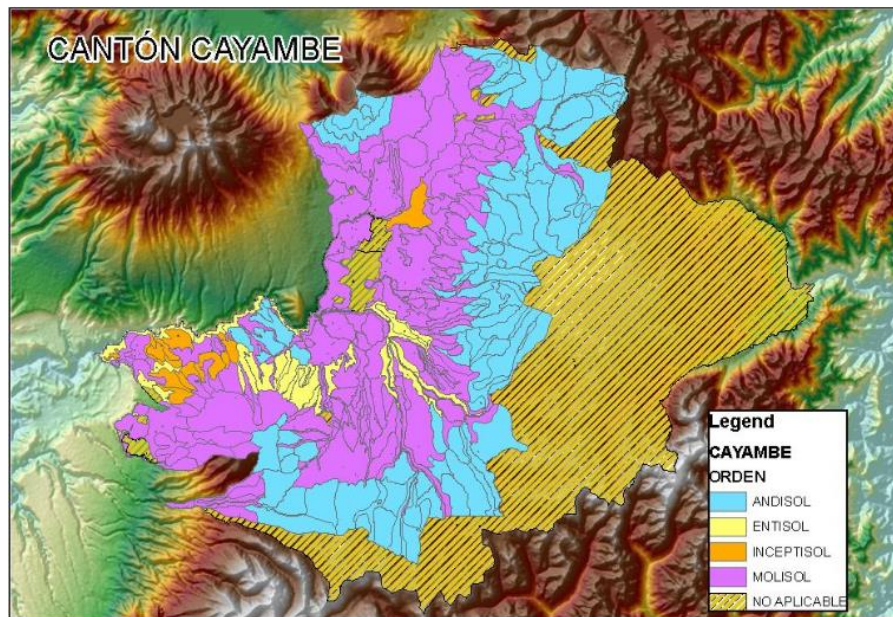
2.1.1. Origen y Composición

El agregado mineral que se utiliza para la realización de esta investigación es la que proviene de la mina de Pingulmi, que suministra material de mejoramiento por medio de procesos de tamizados, para utilizarlo mediante la trituración y obtención de agregados para subbase, mezclas asfálticas y hormigones.

El material que se utilizará es de la mina Pingulmi, que se encuentra ubicada en el cantón Cayambe, este sector según su geología se caracteriza por tener suelos desaturados,

negros y alto porcentaje de materia orgánica. También podemos encontrar suelos Paleoglaciares, que son semejantes a los mencionados anteriormente por su caracterización climatológica. En este sector sobresalen los suelos de origen de ceniza volcánica como son los Molisoles, los cuales se encuentran ubicadas al norte y sur de las afectaciones del material geológico arrojado por un volcán.

Figura N 2.1 Ubicación geográfica de Órdenes de Suelos cantón Cayambe



Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), 2013)

El agregado mineral es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas graduadas o fragmentadas, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y 95%, en peso, y entre el 75 y 85%, en volumen, de la mayoría de las estructuras del pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve ampliamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de la capacidad portante. (Asphalt Institute, 1997)

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas y metamórficas. Ésta clasificación está basada en el tipo de formación de cada roca como se detalla en la figura siguiente:

Figura N 2.2 Cuadro de la clasificación de las rocas.

CLASIFICACION GENERAL DE ROCAS		
Clase	Tipo	Familia
Sedimentarias	Calcareas	Caliza Dolomita
	Silíceas	Arcilla Esquistosa Arenisca Horsteno Conglomerado ¹ Breccia ¹
Metamórficas	Foliadas	Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra
	No Foliadas	Cuarcita Mármol Serpentina
Igneas	Intrusivas (de grano grueso)	Granito ² Sienita ² Diorita ² Gabbro Periodotita Piroxenita Hornablendita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana Pómez Tufa Riolita ^{2,3} Traquita ^{2,3} Andesita ^{2,3} Basalto ³ Diabasa

Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Éstos incluyen: agregados naturales, y agregados sintéticos o artificiales.

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Los glaciares, por ejemplo, usualmente producen rocas y guijarros redondeados. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas. (Asphalt Institute, 1997)

Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35mm (1/4"). La arena se define como partículas de tamaño menor que 6.35mm (1/4") pero mayor que 0.075mm (No.200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075mm (No.200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla. (Asphalt Institute, 1997)

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación. (Asphalt Institute, 1997)

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que se maneja. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes. (Asphalt Institute, 1997)

El tamizado de los materiales, después de triturados, resulta en una granulometría con cierto rango de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra. El

agregado triturado, sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimentos. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones. (Asphalt Institute, 1997)

El triturado de algunos tipos de roca como las calizas, produce cantidades sustanciales de pequeños fragmentos y partículas. Ésta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o mayores 6.35mm (1/4”), casi siempre, y usada como agregado de arena triturada, o procesada hasta tamaños máximas de 0.60mm (No.30). (Asphalt Institute, 1997)

2.1.2. Obtención de Agregado

En la fabricación de la carpeta asfáltica se utilizarán los materiales triturados de la Mina Pingulmi, ubicada en el kilómetro 20+950 de la carretera Cayambe - Cusubamba, en la provincia de Pichincha, los mismos que han sido sometidos a procesos de trituración obteniendo tres fracciones para el uso de la mezcla asfáltica en caliente de la investigación propuesta.

2.1.2.1. Proceso de Obtención del Agregado

El proceso de obtención del agregado de la mina de Pingulmi pasa por distintas fases los cuales detallaremos a continuación:

- Se retira la capa vegetal y se excava hasta encontrar el material óptimo para su explotación.
- Se procede a transportar hacia el centro de acopio para su posterior triturado.
- Se empieza a depositar el material en las respectivas trituradoras a través del payloader.
- La trituradora primaria y secundaria clasifica al material para sub-base y mejoramiento, y el material mayor de 2” se lo destina para la trituradora terciaria.
- La trituradora terciaria vuelve a clasificar el material permitiendo ajustar la granulometría requerida para distintos usos como son los de: carpeta asfáltica, hormigón y slurry.

- A través de bandas se procede al almacenamiento por tamaño de cada agregado, el mismo que no se puede apilar más de 3 m de altura, ya que el material se disgrega.
- Concluido todo éste proceso, el material se lo puede utilizar para cualquier objetivo específico.

Foto N 2.1 Centro de acopio y triturado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.2 Trituradoras primarias, secundarias y bandas transportadoras según tamaño del agregado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.3 Clasificación del material para su posterior almacenamiento



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.4 Trituradora terciaria



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.5 Obtención del material deseado de la trituradora terciaria



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.1.3. Caracterización del Agregado

Los agregados pétreos son componentes esenciales para el cemento asfáltico y bases granulares. Sus características afectan no solo las propiedades físicas y químicas de la mezcla asfáltica sino también del costo del mismo. (Carlos, 2007)

Las características de los agregados en cuanto a su forma, textura y gradación influyen en la densidad, dureza, resistencia, la permeabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica, por lo que es necesario saber la composición de cada agregado a usarse para dicho objetivo. (Carlos, 2007)

A continuación se describe cada uno de los suelos que se presenta en el sector de Cayambe (mina Pingulmi):

- **ORDEN MOLLISOLES**

Estos suelos son los predominantes, la mayoría son suelos de color negro, ricos en bases de cambio, muy comunes generalmente en las áreas de praderas que han dado lugar a la formación de un horizonte superior de gran espesor, oscuro, con abundantes materiales orgánicos y de consistencia y estructura favorable al desarrollo radicular (epipedón móllico), debiendo destacarse para ello la acción de microorganismos y lombrices. En

estos suelos pueden presentarse también procesos de traslocación de arcillas que permitirán la formación de un horizonte de iluviación o argílico. Los mollisoles se encuentran cubriendo áreas con regímenes climáticos secos o húmedos, cálidos y templados de la Sierra y de la Costa, y se encuentran bajo cultivo. (Carlos, 2007)

- **ORDEN INCEPTISOLES**

Estos suelos ocurren en cualquier tipo de clima, y se han desarrollado a partir de diferentes materiales resistentes o cenizas volcánicas, en posiciones de relieve extremo, fuertes pendientes o depresiones o superficies geomorfológicas jóvenes. El uso de estos suelos es muy diverso y variado, las áreas de pendientes son más apropiadas para la reforestación mientras que los suelos de depresiones con drenaje artificial pueden ser cultivados intensamente. Dentro de este Orden en Monjas Alto se identifican un suborden caracterizado por la humedad, temperatura y mineralogía del suelo. (Carlos, 2007)

- **ORDEN MISCELÁNEOS**

Son áreas que no tienen suelo definido o son muy complejos. (Carlos, 2007)

2.1.3.1. Agregado Grueso

2.1.3.1.1. Descripción y Ejecución de Ensayos

Para el diseño de mezclas asfálticas es necesario la calificación de los materiales o agregados que serán utilizados, que de acuerdo a métodos empíricos se ha establecido procedimientos que permiten evaluar de manera idónea y cumplir normativas que determinan las condiciones físicas y químicas de los materiales a emplearse.

Para obtener una mezcla que cumpla con las condiciones de construcción y durabilidad deben componerse de agregados gruesos que deben sujetarse a ciertos parámetros, que se determinan en los ensayos que a continuación se detallan.

2.1.3.1.1.1. Gravedad Específica

La gravedad específica determina la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir el volumen de los vacíos entre las partículas)

Dependiendo del procedimiento utilizado: se obtiene la gravedad específica bulk, gravedad saturada-superficie-seca y gravedad específica aparente, en kg/m^3 , de los cuales a continuación haremos una breve explicación:

Gravedad específica bulk, es útil para calcular el porcentaje de vacíos de aire en el diseño Marshall, los especímenes utilizados en este ensayo pueden ser mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio o extraídos en el campo. (Asphalt Institute, 1997)

Gravedad saturada con superficie seca, es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas). (Asphalt Institute, 1997)

Gravedad específica aparente, es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturable y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre las partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida. (Asphalt Institute, 1997)

Los resultados se presentan en el Anexo N 2.1.

Foto N 2.6 Ensayo gravedad específica.



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.1.3.1.1.2. Desgaste ensayo máquina de los ángeles

Para todos los agregados gruesos una de las propiedades físicas en los cuales su importancia y su conocimiento son indispensables en el diseño de mezclas asfálticas, es la RESISTENCIA A LA ABRASIÓN O DESGASTE MAQUINA DE LOS ÁNGELES de los agregados. Por medio de la máquina de los ángeles se establece un estimado de desgaste, que en base a las normativas de construcción, pueden aprobar o descartar un banco de material y su utilización en la construcción de pavimentos.

La determinación a la resistencia de materiales por cargas abrasivas del agregado grueso es de fundamental importancia para garantizar la durabilidad de una mezcla asfáltica, ya que dicha obra está expuesta a la intemperie, donde los cambios medio ambientales no darán tregua alguna a su cuidado, así como también el constante tráfico vehicular influirá en el desgaste de las vías.

El porcentaje de desgastes del agregado grueso de la mina de Pingulmi se establece mediante la Norma ASTM C 131 y AASHTO T96.

Foto N 2.7 Balanza electrónica



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.8 Máquina de los ángeles



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

El resultado del ensayo se detalla en el Anexo N 2.2.

2.1.3.1.1.3. Desgaste a los sulfatos

Para la determinación del porcentaje ponderado de pérdida del agregado grueso, se toman las muestras con el material que es retenido en el tamiz de 4,75 mm a 2,36 mm, seguidamente sacarlo a una temperatura de 110°C hasta masa constante. Luego se tamiza las muestras, haciendo la separación de cada material que permita obtener las fracciones de acuerdo a la figura siguiente:

Figura N 2.3 Cuadro de fracciones según el tamaño del material

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de la subfracción (g)	Masa de fracción (g)
1	50 - 63	3.000 ± 300	5.000 ± 300
	37,5 - 50	2.000 ± 200	
2	25,0-37,5	1.000 ± 50	1.500 ± 50
	19-25,0	500 ± 30	
3	12,5 -19	670 ± 10	1.000 ± 10
	9,5 - 12,5	330 ± 5	
4	4,75-9,5	300 ± 5	300 ± 5
5	2,36-4,75	100 ± 5	100 ± 5

Fuente: (APIA XXI)

Una vez separadas las fracciones de cada tamiz se realizó el ensayo que establece la Norma ASTM C 88 y AASHTO T104 para así llegar a obtener los resultados.

Foto N 2.9 Desgaste a los sulfatos



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.10 Ensayo de sulfatos en proceso



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

En el Anexo N 2.3 se registra los resultados obtenidos en este ensayo.

2.1.3.1.1.4. Deletéreos

Este ensayo determina de forma aproximada, el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los áridos. El método de ensayo consiste en tomar una muestra de material de acuerdo a la especificada en la siguiente imagen:

Tabla N 2.1 Cuadro de masas de muestra según tamaño de partículas

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Masa de la muestra de ensayo, mínimo (g)
4,75 mm a 9,5 mm (Nº 4 a 3/8")	1000
9,5 mm a 19,0 mm (3/8" a 3/4")	2000
19,0 mm a 37,5 mm (3/4" a 1 1/2")	3000
Sobre 37,5 mm (1 1/2")	5000

Fuente: (INEN, 2010)

Se extiende el material formando una fina capa en el fondo del recipiente, cubrir con agua y sumergirla durante un periodo de 24 horas \pm 4 horas. Rodar y apretar las partículas de forma individual entre el pulgar y el dedo índice para intentar romper la partícula en tamaños más pequeños. No se debe utilizar las uñas para romper las partículas o presionar las partículas con una superficie dura o entre ellas. Clasificar como terrones de arcilla o partículas desmenuzables cada partícula que se pueda romper con los dedos en finos removibles por tamizado húmedo. Después de que todos los terrones de arcilla y partículas desmenuzables perceptibles se han roto, separamos los detritos del resto de la muestra por tamizado húmedo sobre el tamiza indicado en la siguiente imagen: (INEN, 2010)

Tabla N 2.2 Cuadro de tamices según tamaño de partículas

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Tamaño del tamiz para remover los residuos de terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Árido fino (retenido sobre el tamiz de 1,18 mm (Nº 16))	850 μ m (Nº 20)
4,75 mm a 9,5 mm (Nº 4 a 3/8")	2,38 mm (Nº 8)
9,5 mm a 19,0 mm (3/8" a 3/4")	4,75 mm (Nº 4)
19,0 mm a 37,5 mm (3/4" a 1 1/2")	4,75 mm (Nº 4)
Sobre 37,5 mm (1 1/2")	4,75 mm (Nº 4)

Fuente: (INEN, 2010)

Se realiza el tamizado húmedo pasando agua a través del tamiz que contiene la muestra mientras se agita manualmente el mismo, hasta que todo el material de tamaño más pequeño haya sido eliminado.

Se retira cuidadosamente las partículas retenidas en el tamiz, se seca hasta una masa prácticamente constante a una temperatura de 110°C \pm 5°, se deja enfriar para determinar la masa con una aproximación de 0,1 % de la masa de la muestra de ensayo tal como se definió anteriormente. (INEN, 2010)

Foto N 2.11 Ensayo de deletéreos



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

La determinación de contenido de terrones de arcilla del material se lo detalla en el Anexo N 2.4.

2.1.3.2. Agregado Fino

2.1.3.2.1. Descripción y Ejecución de Ensayos

En el diseño de la mezcla asfáltica otro componente importante es el agregado fino que de manera similar que el agregado grueso, debe cumplir ciertas condiciones que califiquen su utilización para obtener una mezcla asfáltica de calidad.

Por lo tanto para que se cumpla este condicionamiento los agregados finos se sujetan a ensayos específicos que igualmente se detallará a continuación.

2.1.3.2.1.1. Gravedad Específica

Conceptualmente la gravedad específica es una propiedad física y se relaciona entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características de la partícula del agregado.

Regularmente las cantidades de áridos empleadas en una mezcla bituminosa para pavimentos son cuando la gravedad específica varía considerablemente.

Foto N 2.12 Gravedad específica



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Los resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica de arena triturada $\frac{1}{4}$ " y arena natural se encuentran detallados en los anexos N 2.5 y N 2.6 respectivamente.

2.1.3.2.1.2. Desgaste a los sulfatos

Este ensayo determina la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de magnesio o sulfato de sodio, en este caso se utilizó el sulfato de magnesio especificada en la norma ASTM C 88. Para cumplir la norma para agregados finos se utiliza el material pasante del tamiz N° 4. Con el material pasante N° 4 se debe obtener fracciones de muestra especificadas en la tabla siguiente:

Tabla N 2.3 Cuadro de masas según el tamaño de las partículas.

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (g)
1	4,75 - 9,5	100
2	2,36 - 4,75	100
3	1,18 - 2,36	100
4	0,6 - 1,18	100
5	0,3 - 0,6	100

Fuente: (INEN, 2010)

Todo el procedimiento se lo realiza mediante especificaciones que establecen las Normas ASTM C 88 y AASHTO T104.

Foto N 2.13 Sulfato de magnesio



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

El informe de resultados del ensayo desgaste a los sulfatos se encuentra en el Anexo N 2.7.

2.1.3.2.1.3. Equivalente de arena

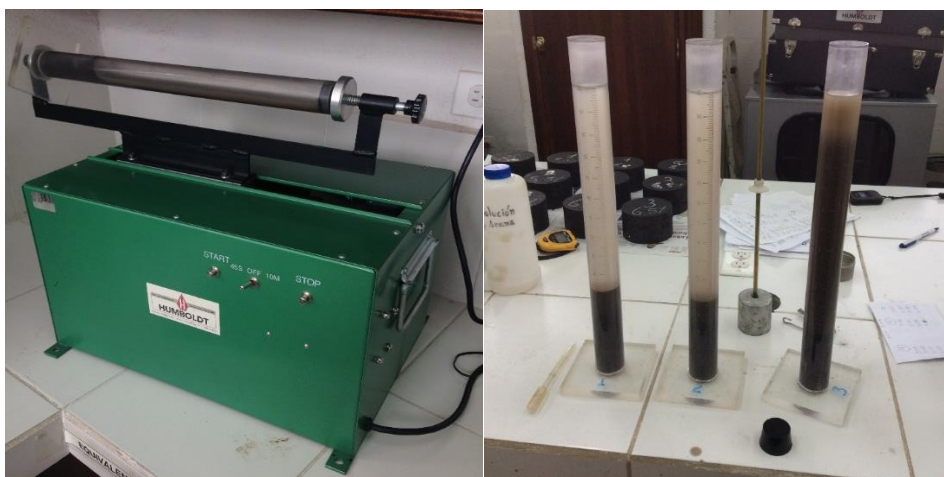
La Norma ASTM D 2416 establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los agregados que pasan por el tamiz N° 4. Éste método implementa el porcentaje de arena propiamente dicha, con respecto al total de arena y de impurezas particularmente: arcillosas, contenido de humus y limos. La muestra a ensayarse debe ser igual o mayor a 2000 gramos de material pasante del tamiz N° 4, procediendo a realizar el ensayo que describe la norma mencionada anteriormente.

Foto N 2.14 Ensayo equivalente de arena



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.15 Máquina y muestras equivalentes de arena



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Los resultados del ensayo equivalente de arena se encuentran en el Anexo N 2.8.

2.1.3.2.1.4. Contenido Orgánico

Este método tiene como objetivo determinar la presencia y el contenido de materia orgánica de suelos, específicamente de arenas usadas en la preparación de mezclas asfálticas y de morteros. El ensayo se basa en el contenido de la materia orgánica que puede contener una muestra mediante la acción del hidróxido de sodio (al 3%). Se lo puede realizar de varios métodos, pero el usado es el normal, es decir, visualmente. Todo esto lo especifica la Norma AASHTO T 21.

Foto N 2.16 Ensayo contenido orgánico



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.17 Tabla de valoración de contenido orgánico



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

En el Anexo N 2.9 se detallan los resultados del ensayo del contenido orgánico.

2.1.3.3. Granulometría

2.1.3.3.1. Granulometría de la Mezcla

El ensayo para el análisis granulométrico por tamizado para muestras de suelo que contienen cantidades de gravas consideradas (tamaño de partículas superiores al tamiz N° 4) que establece la Norma ASTM C 136 y AASHTO T27, se lo realiza por vía seca, es decir que la muestra secada al horno y posteriormente tamizada utilizando la serie de tamices: $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$, N° 4, N° 8, N° 50 y N° 200.

Se realiza el muestreo en el stock previo a lo cual se hace la mezcla del material utilizando el equipo adecuado (payloader), luego de lo cual se procede al cuarteo obteniendo dos muestras de aproximadamente 5000 gramos. Con cada una de las muestras se procede a pesar el material para luego secarlo en el horno. Una vez seco el material se utiliza la serie de tamices mencionados anteriormente para la obtención de la granulometría del agregado grueso.

Una vez tamizado se procede a pesar el material retenido en cada uno de la serie de tamices, registrando los resultados para la elaboración de la curva granulométrica y que

cumpla dentro de los rangos que especifican las Normas ASTM, AASHTO e INEN, esto se realiza con las dos muestras tomadas.

Para los suelos finos que van a ser utilizados para el diseño de la mezcla asfáltica, se utiliza la serie de tamices 3/8, N°4, N° 8, N° 16, N°30, N° 50, N° 100, N° 200. Primeramente se realiza el muestreo en el stock previo a lo cual se hace la mezcla del material utilizando el equipo adecuado (payloader), luego de lo cual se procede a pesar tres muestras de aproximadamente 600 gramos

A continuación se lava la muestra colocando sobre la malla N°40 y N°200 por medio de agua a presión ayudándose con movimiento giratorios, se agita la muestra retenida en el tamiz N°200 hasta que el agua que pase a través de la malla sea cristalina esto nos indica que las partículas menores al tamiz N°200 ha pasado en su totalidad por éste. El material retenido en la malla N° 40 y N°200 se coloca en un recipiente para secarlo al horno.

Ya seco el material se utiliza la serie de tamices mencionados anteriormente para la obtención de la granulometría del agregado fino.

Una vez tamizado se procede a pesar el material retenido en cada uno de la serie de tamices, registrando los resultados para la elaboración de la curva granulométrica y que cumpla dentro de los rangos especificados en las Normas ASTM C 136 y AASHTO T27, esto se lo realiza con las tres muestras tomadas. Adicionalmente se calcula el contenido de humedad del material.

Foto N 2.18 Material tamizado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

En el Anexo 2.10, se registra el informe de resultados del análisis granulométrico y las respectivas graficas de la curva granulométrica.

2.1.3.3.2. Granulometría del caucho

De acuerdo a la granulometría de los agregados para Mezcla Asfáltica en caliente se toman los tamices N° 4, 8 y 50 para verificar el porcentaje de retenidos, con lo que se determina que el 100% del caucho empleado era pasante N° 50. Concluyendo que el caucho regenerado, vulcanizado y pulverizado es un material fino, esponjoso y sin contenido de humedad, que en volumen es representativo más no en su peso.

Foto N 2.19 Tamizado del caucho



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 2.20 Muestras de caucho pasante N° 50



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2. Asfalto

El asfalto es un material negro, cementante, que vivirá ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual lo permite cubrir las partículas del agregado durante la producción de mezcla en caliente. (Asphalt Institute, 1997)

Casi todo el asfalto es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales. (Asphalt Institute, 1997)

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico. (Asphalt Institute, 1997)

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que puede retardarse el proceso de envejecimiento. (Asphalt Institute, 1997)

2.2.1. Tipos de Asfalto

2.2.1.1. Cemento Asfáltico

Es aquel asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos. Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes los cuales son:

- Viscosidad
- Viscosidad después del envejecimiento
- Penetración

Cada sistema abarca diferentes grados, cada uno con diferentes rangos de consistencia, donde la más usada es la de viscosidad del asfalto, representada en poise que es la unidad normal de medida, ya que nos permite determinar cuán viscoso es el asfalto. Por lo que a más alto es el número de poises mayor viscosidad tiene el asfalto. (Asphalt Institute, 1997)

2.2.1.2. Asfalto Diluido

Es un cemento asfáltico que se ha sido licuado al mezclarlo con solventes de petróleo (también llamados diluyentes), en lo que se refiere a los asfaltos diluidos RC y MC. Los diluyentes se evaporan una vez que se exponen a las condiciones atmosféricas, permitiendo así que el contenido asfáltico realice su función. (Asphalt Institute, 1997)

- **Asfalto de curado rápido (RC).**- Asfalto diluido compuesto de cemento asfáltico y un diluyente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.
- **Asfalto de curado medio (MC).**- Asfalto diluido compuesto de cemento asfáltico y un diluyente tipo kerosene de volatilidad media.
- **Asfalto de curado lento (SC).**- Asfalto diluido compuesto de cemento asfáltico y aceites de baja volatilidad.
- **Aceite de carreteras.**- Un aceite pesado de petróleo, generalmente del tipo de los asfaltos de curado lento (SC).

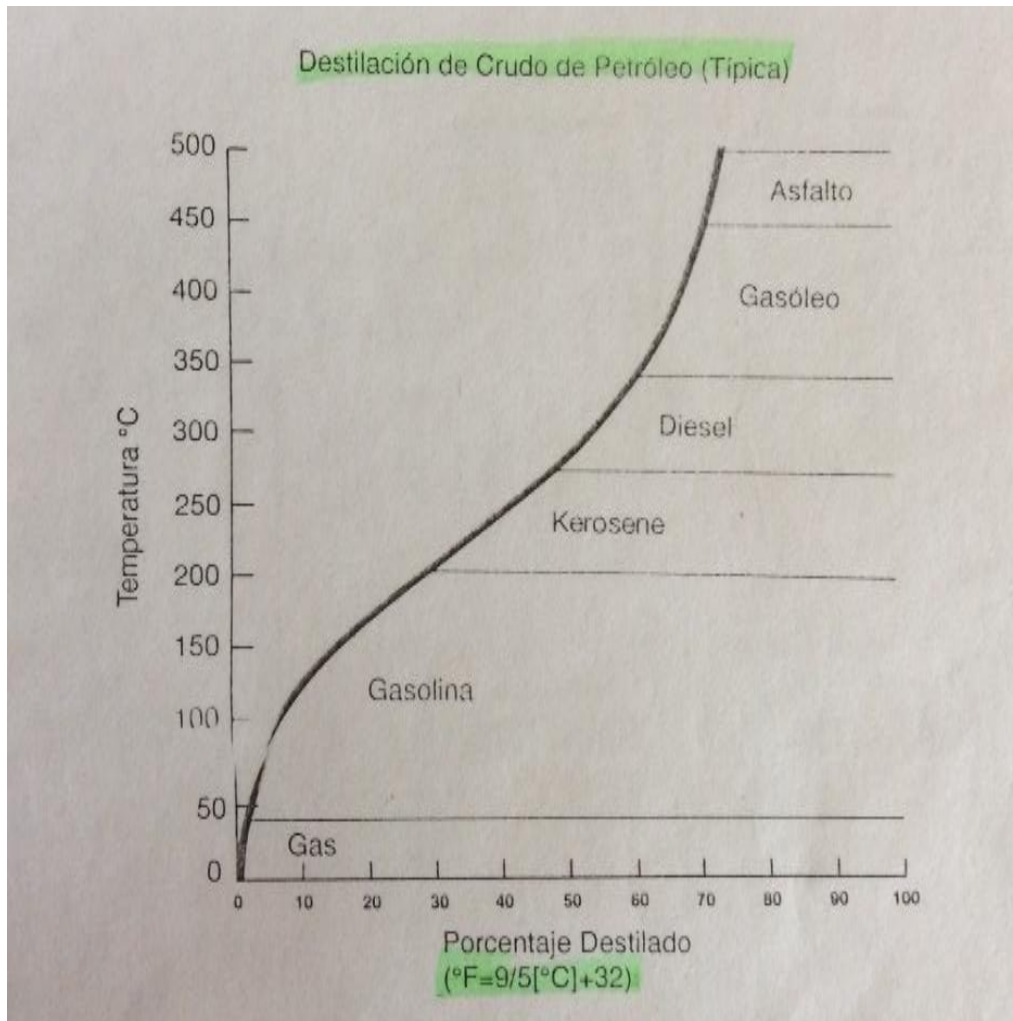
2.2.1.3. Asfalto Emulsificado

Es aquella emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua) en donde el agua forma la fase continua de la emulsión, y de pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser de tipo aniónico (glóbulos cargados negativamente) o catiónico (glóbulos cargados positivamente), dependiendo del agente emulsionante. (Asphalt Institute, 1997)

2.2.2. Obtención del cemento asfáltico

El asfalto se obtiene de la refinación del petróleo, el crudo de petróleo es refinado por destilación, por lo que es un proceso en el cual las diferentes fracciones o productos son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura, como puede verse en la figura siguiente:

Figura N 2.4 Productos y temperaturas típicas de destilación



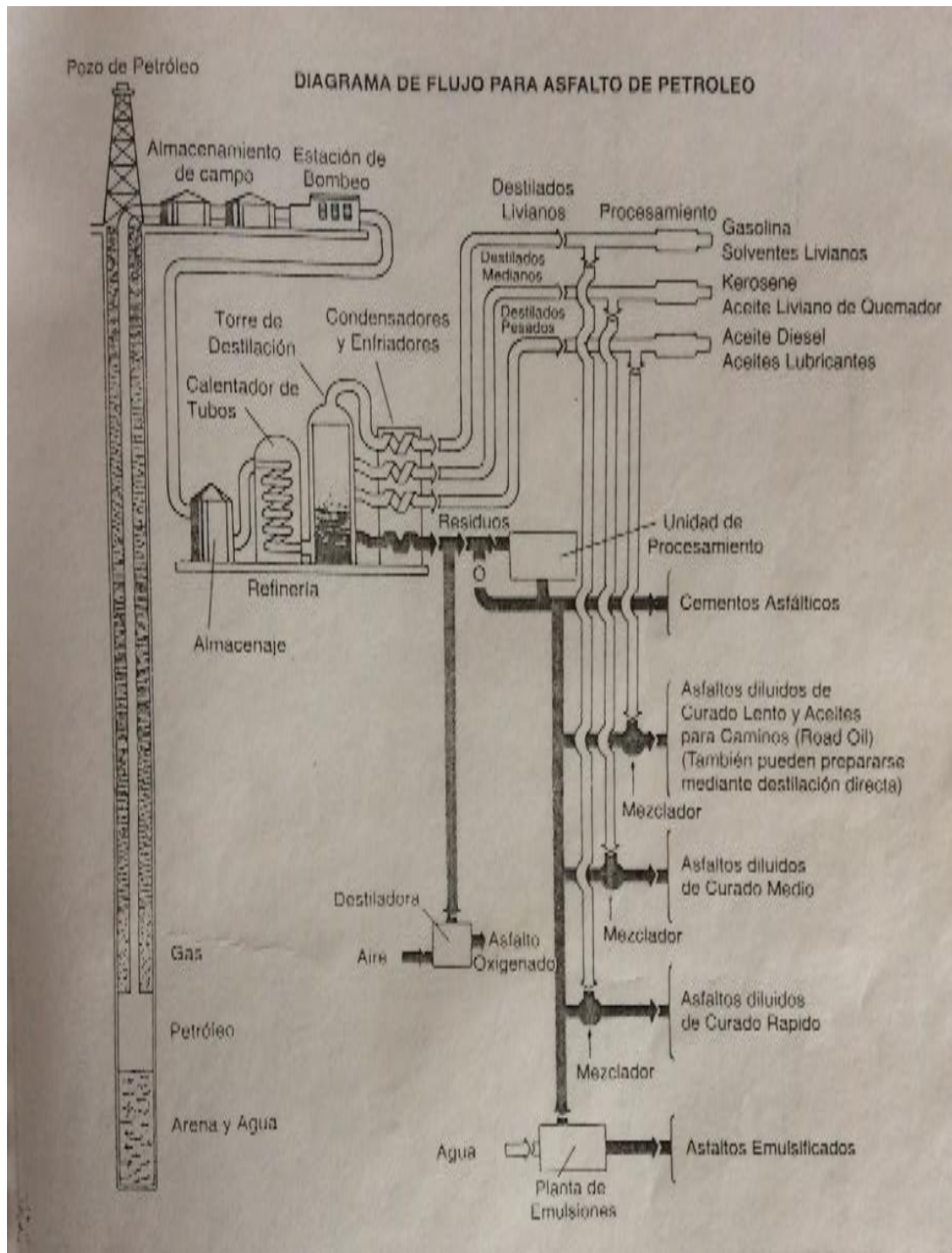
Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación y vacío. Como se muestra en la figura anterior, el asfalto puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F).

Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del crudo del petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. (Asphalt Institute, 1997)

La figura siguiente es una ilustración esquemática de una refinería típica, la figura muestra el flujo del petróleo durante el proceso de refinación.

Figura N 2.5 Proceso típico de refinación



Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

Diferentes usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen, para que éstos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra generalmente mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos. El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario. (Asphalt Institute, 1997)

Existen dos procesos por los cuales pueden ser producidos un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes, la destilación por vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. En el proceso de extracción con solvente, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual. (Asphalt Institute, 1997)

Una vez que los asfaltos han sido procesados, éstos pueden ser mezclados entre sí, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia. (Asphalt Institute, 1997)

En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo del petróleo o mezclas de crudo de petróleo. El asfalto separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción por solventes.

2.2.3. Caracterización del Cemento Asfáltico

2.2.3.1. Propiedades del Cemento Asfáltico

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que le hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Los técnicos de asfalto y los diseñadores de pavimentos han aprendido a identificar y caracterizar estas propiedades y a usarlas, dentro de la estructura del pavimento, en la forma más ventajosa posible. Una breve introducción de las propiedades más importantes ayudará a entender la naturaleza de los pavimentos de mezclas en caliente. (Asphalt Institute, 1997)

La composición química es ciertamente uno de los medios usados más precisos, para identificar las propiedades de cualquier sustancia. Sin embargo, existen varias razones por las cuales la química no ha llegado a ser parte de los sistemas de clasificación, una

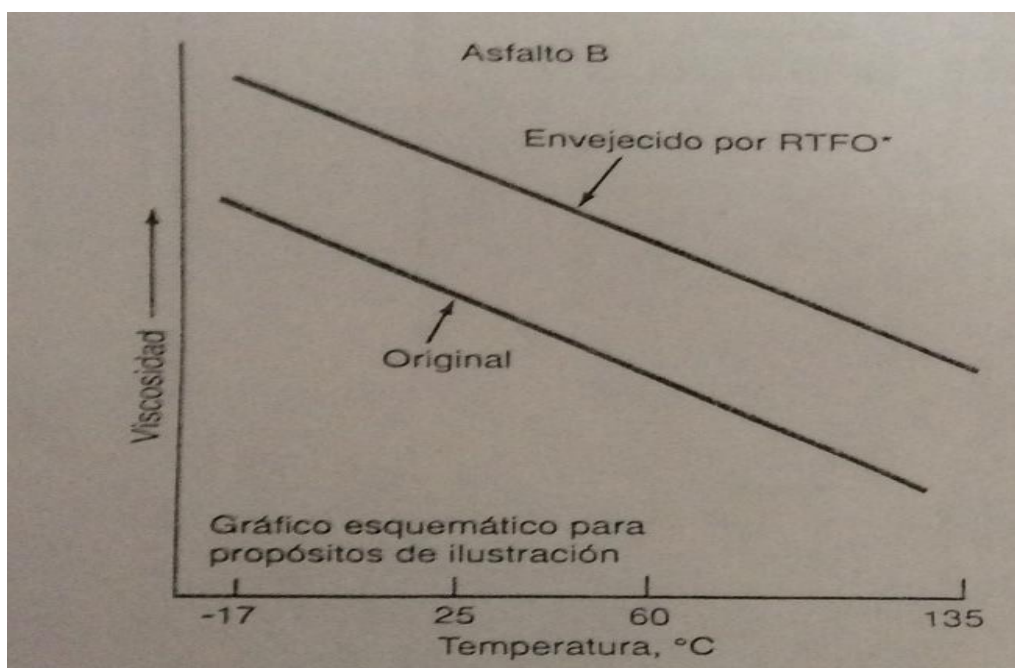
breve descripción de la química del asfalto ayudará a entender la naturaleza del material. (Asphalt Institute, 1997)

Básicamente el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos. (Asphalt Institute, 1997)

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos, una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza. (Asphalt Institute, 1997)

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceite. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas, (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto pueden variar debido a un sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas del agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto. Este aumento de viscosidad con el envejecimiento es ilustrado en la figura siguiente en donde se indica el cambio en viscosidad después de una prueba normal de envejecimiento. (Asphalt Institute, 1997)

Figura N 2.6 Endurecimiento de Asfalto después de haber sido expuesto a temperaturas altas



Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento. (Asphalt Institute, 1997)

La durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad determinada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto. (Asphalt Institute, 1997)

Existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Estas son la Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). (Asphalt Institute, 1997)

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida a que

su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. (Asphalt Institute, 1997)

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado). (Asphalt Institute, 1997)

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. La figura anterior muestra el aumento en viscosidad debido al calentamiento de una película delgada de asfalto. El margen de viscosidad del material original, antes de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio – RTFO es mucho menor que en el margen obtenido después del calentamiento. (Asphalt Institute, 1997)

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que puede obtenerse en la práctica. (Asphalt Institute, 1997)

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado. (Asphalt Institute, 1997)

2.2.3.2. Descripción y ejecución de ensayos

Como componente fundamental para la mezcla asfáltica es el cemento asfáltico, cuya función primordial es de ligar los agregados tanto gruesos como finos, la utilización de este componente depende mucho de las condiciones físico-químico que tiene el asfalto.

Para obtener una mezcla asfáltica óptima depende en alto grado del tipo de asfalto que se emplee y la utilización que se le dará. En tal virtud la utilización del asfalto para pavimentos debe cumplir ciertos requisitos que se determinan en los ensayos que posteriormente se detalla.

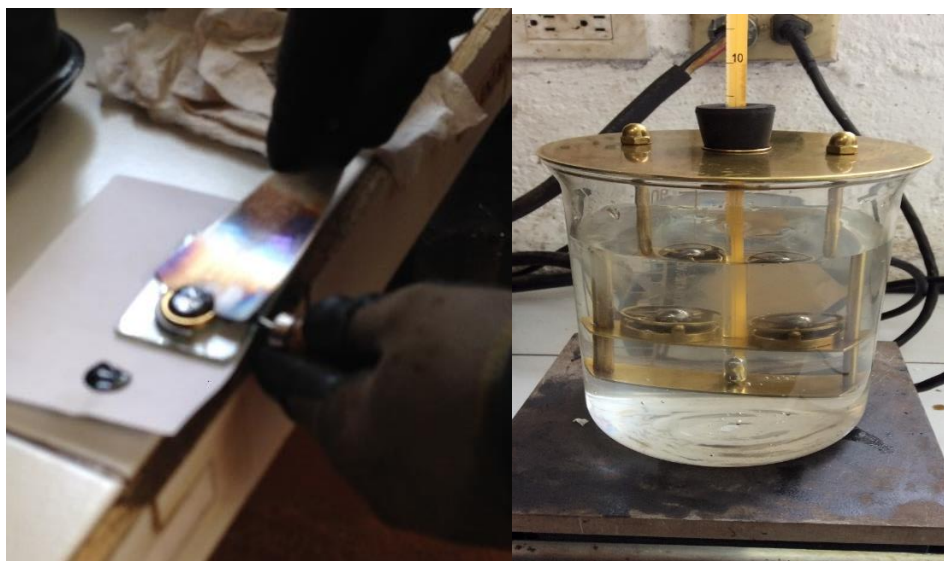
2.2.3.2.1. Asfalto sin caucho

Para calificar el asfalto AC - 20 se basa con el cumplimiento de las Norma ASTM, INEN y AASHTO según el ensayo a realizar. Como primer paso se procede con la calificación del asfalto normal cumpliendo con las especificaciones que rigen las normas mencionadas anteriormente para luego modificarlo con caucho y realizar una comparación técnica de los resultados.

2.2.3.2.1.1. Punto de Ablandamiento o Reblandecimiento

Las Normas ASTM D 36 y AASHTO T53-96 determinan el punto de ablandamiento de materiales asfálticos por medio del aparato de anillo y bola cuyo rango de temperatura esta de 30 a 200 °C. Este método se desarrolla mediante anillos horizontales de dimensiones especificadas, que mediante aumentos de temperaturas cae 25 mm por el peso de una bola de acero la muestra, todo esto se encuentra dentro de un picnómetro lleno de agua o glicerina.

Foto N 2.21 Ensayo punto de ablandamiento



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.1.2. Ductilidad

La ductilidad se la realiza en base a las Normas INEN 916, ASTM D 113 y ASSHTO T51-00, las cuales determinan la longitud en que se alarga un material bituminoso por medio de dos extremos de una briqueta, medida en centímetros antes de romperse. Este ensayo se realiza mediante especificaciones que establecen las normas a una velocidad de 5cm/min $\pm 5\%$ y a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C.

Foto N 2.22 Ensayo ductilidad



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.1.3. Gravedad Específica

Este ensayo consiste en determinar el peso específico relativo o densidad de los cementos asfálticos, conforme a la Norma AASHTO T228 la cual relaciona el peso de un volumen dado del material a 25°C y el peso de un volumen igual de agua a esta misma temperatura, utilizando un picnómetro de peso igual a 28,488 gramos previamente calibrado. Por medio de éste dato se calcula volúmenes de cementos asfálticos y el porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas compactadas.

Foto N 2.23 Ensayo Gravedad específica del asfalto



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.1.4. Penetración

Este método determina la dureza, mediante la penetración de materiales bituminosos, que además se obtiene la consistencia de los asfaltos, en este caso del asfalto AC – 20 normal. Las Normas ASTM D 5 86 e INEN 917 establecen esta propiedad que se lo realiza a temperatura ambiente en la cual el asfalto presenta una consistencia estable y con un comportamiento elastoplástico. Los valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

Foto N 2.24 Ensayo de penetración



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.1.5. Viscosidad

La viscosidad mide la consistencia del cemento asfáltico en este caso asfalto AC -20, indicando la trabajabilidad y adhesividad que tiene el asfalto en la fabricación de mezclas asfálticas, esta propiedad cambia de igual manera con la temperatura, es decir, si ésta se incrementa o cuando mayor es ésta la viscosidad es menor dependiendo del tipo de cemento asfáltico que se emplee.

Existen varios métodos de ensayos para obtener la viscosidad del asfalto los cuales son:

- Viscosidad Dinámica (ASTM D 2171 ó AASHTO T202)
- Viscosidad Cinemática (ASTM D 2170 ó AASHTO T201)
- Viscosidad Rotacional (ASTM D 4402 ó AASHTO T 316)

De los métodos de ensayos anteriormente mencionados se optó por el de Viscosidad Rotacional (Brookfield), cuyo objetivo es medir la consistencia de los asfaltos mediante la determinación de la resistencia que ofrece una prueba a la deformación a temperaturas variables de entre 60 y 170°C. El ensayo determina el par de torsión aplicado en un eje rotacional la muestra bajo condiciones controladas de temperaturas y tiempo.

Foto N 2.25 Viscosidad Rotacional (Brookfield)



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.1.6. Película Delgada

Las Normas ASTM D 2872 Y AASHTO T 240 06 establecen mediciones del asfalto antes y después del método ensayado, que consiste en medir el efecto del calor y aire sobre una película de asfalto en movimiento., cuyo objetivo es de determinar el porcentaje de pérdida de masa del asfalto sujeto a una temperatura de 160°C en un tiempo de 85 minutos.

Foto N 2.26 Ensayo película delgada



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.1.7. Punto de Inflamación

La Norma AASHTO T 79 especifica que si se incrementa la temperatura de la muestra se podrá llegar al punto en que se inicie la combustión del material. Este método determina la temperatura máxima en la que el asfalto puede llegar a calentarse sin que llegue a inflamarse con la presencia de una llama directa.

Foto N 2.27 Ensayo punto de inflamación



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

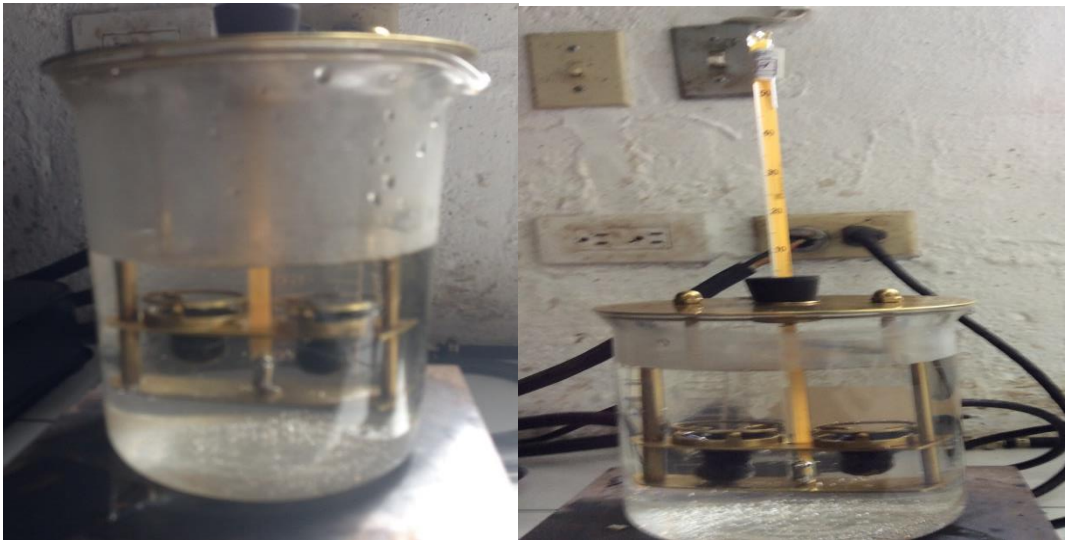
2.2.3.2.2. Asfaltos con caucho (1; 1,5; 2%)

Para calificar el asfalto modificado con caucho se procede con el cumplimiento de la Norma ASTM D-6114-97, adoptando las especificaciones del asfalto más caucho tipo III. Para efectuar esta norma se realiza el ensayo incorporando al asfalto caliente, el caucho pulverizado, a una temperatura de 170 °C, con porcentajes variados de 1, 1,5 y 2%. Adicionalmente se realiza la mezcla asfalto – caucho con un porcentaje de 3 y 7% para objeto de comparar el comportamiento del material ya modificado.

2.2.3.2.2.1. Punto de Ablandamiento o Reblandecimiento

Las Normas ASTM D 36 y AASHTO T53-96 establecen el punto de ablandamiento de materiales asfálticos por medio del aparato de anillo y bola cuyo rango de temperatura esta de 30 a 200 °C. Adicionalmente con la incorporación del caucho en los porcentajes propuestos se debe cumplir con las especificaciones de la Norma ASTM D 61145 97 que para objeto de investigación se adoptó las características del asfalto – caucho tipo III.

Foto N 2.28 Ensayo punto de ablandamiento asfalto modificado

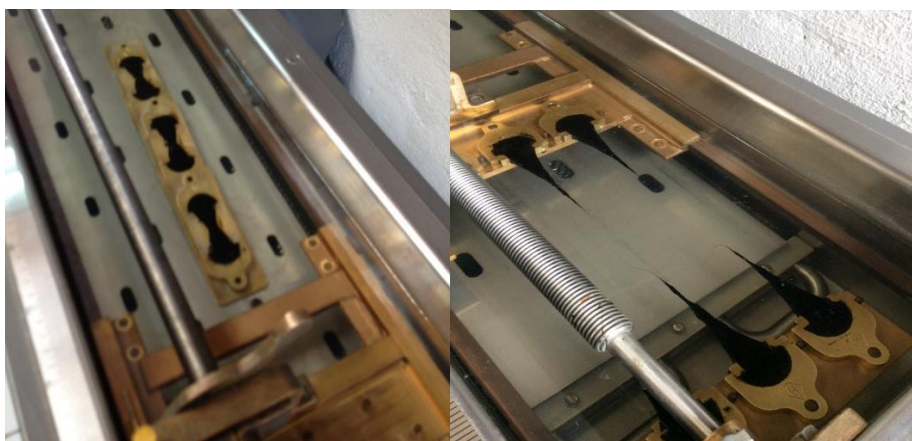


Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.2.2. Ductilidad

Las Normas INEN 916, ASTM D 113 y ASSHTO T51-00 establecen éste método con la diferencia de que al asfalto se lo modifica con caucho con porcentajes ya propuestos. En la Norma ASTM 6114 97 no contemplan especificaciones de la ductilidad que deben cumplir el asfalto modificado con caucho, por lo que se debe basar en las normas del asfalto normal.

Foto N 2.29 Ensayo ductilidad asfalto modificado

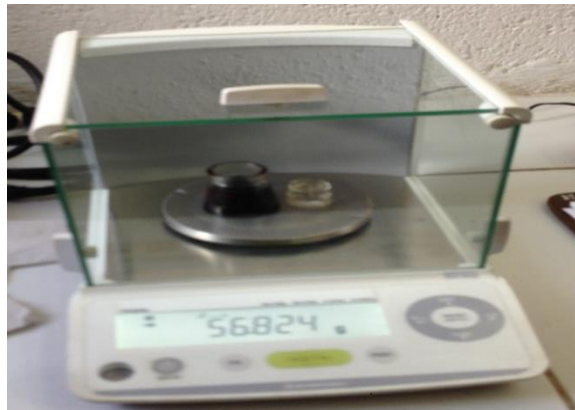


Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.2.3. Gravedad Específica

Con la mezcla asfalto más caucho en los porcentajes propuestos se realiza este ensayo con las especificaciones que determina la Norma AASHTO T228 para asfalto sin modificar, ya que en la Norma ASTM D 6114 97 de asfalto modificado con caucho no especifica los rangos que deben cumplir este ensayo, los resultados obtenidos servirán para compararlos con los del asfalto AC – 20 normal.

Foto N 2.30 Ensayo gravedad específica asfalto modificado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.2.4. Penetración

Para objeto de determinar las variaciones con la incorporación del caucho al asfalto AC-20 en los porcentajes propuestos de la penetración, se realiza el ensayo que determinan las Normas ASTM D 5 86 e INEN 917, pero cumpliendo con las especificaciones del asfalto – caucho tipo III que determina la Norma ASTM D 6114 97.

Foto N 2.31 Ensayo penetración de asfalto modificado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.2.5. Viscosidad

La normativa ASTM D 4402 ó AASHTO T 316 establece la Viscosidad Rotacional (Brookfield), en este caso se lo realiza con asfalto modificado con caucho con los porcentajes ya propuestos. Como en los anteriores ensayos adoptamos la Norma ASTM D 6114 97 con especificación tipo III, pero en esta norma el rango establecido de viscosidad mínimo es de 1500 y con un máximo de 5000 a una temperatura de 175 °C, la cual es distinta a la de asfalto normal cambiando los parámetros de comprobación cuyos resultados se los verán más adelante.

Foto N 2.32 Ensayo viscosidad asfalto modificado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.2.6. Película Delgada

La Norma ASTM D 2872 Y AASHTO T 240 06 implementa éste ensayo, la cual se optó para el cumplimiento del método con asfalto modificado con caucho, con el objeto de tener datos de comparación con el de asfalto AC – 20 normal, ya que la Norma ASTM D 6114 97 de asfalto modificado no hace referencia en cumplimiento de una especificación de este ensayo, por lo que se basó en las especificaciones y rangos de la Norma vigente.

Foto N 2.33 Ensayo película delgada asfalto modificado

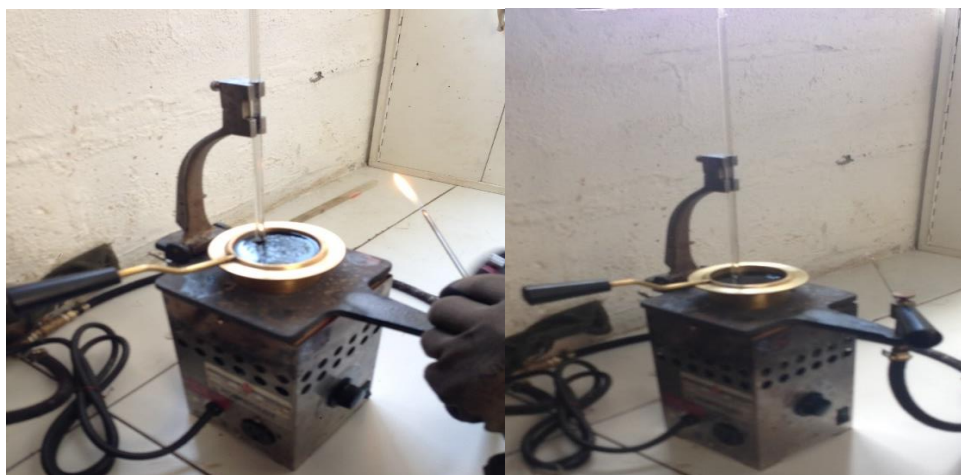


Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.2.2.7. Punto de Inflamación

Con el caso del asfalto modificado se realiza el ensayo basada en la Norma ASTM D-6114-97, la cual muestra que el punto de inflamación tiene una especificación con un mínimo de temperatura de 232.2 °C con adición de caucho tipo III, pero sin un intervalo máximo al cual puede llegar la combustión del material. Sin embargo el procedimiento de prueba es igual a la del asfalto normal que consiste en incrementar la temperatura de la muestra hasta lograr que al pasar una llama sobre la superficie se produzcan flamas instantáneas.

Foto N 2.34 Ensayo punto de inflamación asfalto modificado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

2.2.3.3. Cuadros de resultados

Los resultados obtenidos de los ensayos redactados anteriormente del asfalto AC-20 normal se encuentran en los Anexos: N 2.11, N 2.12; y del asfalto modificado se encuentran en los Anexos: N 2.13; N 2.14; N 2.15; N 2.16; N 2.17; N 2.18; N 2.19; N 2.10; N 2.21 y N 2.22, en los que constan la utilización del cemento asfáltico modificado con caucho pulverizado al 1%, 1,5%, 2% de acuerdo a la propuesta de la investigación. Además se realiza ensayos comprobatorios con un porcentajes de 3 y 7% con la finalidad de determinar la incidencia de una mayor cantidad de caucho pulverizado en el asfalto.

CAPÍTULO III

3. INTRODUCCIÓN MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, también llamadas aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película. Se fabrica en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Asphalt Institute, 1997)

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta. Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme: (Asphalt Institute, 1997)

- La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
- La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores se le denomina pavimento.

Las tipologías de los firmes de acuerdo a su comportamiento y respuesta se pueden dividir en los siguientes tipos:

- Firmes Flexibles. (Base Granular). Constituidos por capas de sub-base y base de material granular, y por un tratamiento superficial o por una capa de mezcla asfáltica de espesores muy delgados que pueden ir hasta los 10 cm. regularmente, las capas granulares resisten fundamentalmente la acción del tráfico, la capa de rodadura sirve para impermeabilizar el firme, resistir los efectos abrasivos del tráfico y proporcionar una rodadura cómoda y segura. (Asphalt Institute, 1997)
- Firmes Flexibles. (Base Asfáltica). Compuesto por una base y un pavimento asfáltico y el cual está constituido por una capa intermedia y otra de rodadura, la sub-base puede ser granular o bien tratada con un ligante hidráulico o hidrocarbonado. (Asphalt Institute, 1997)

- Firmes Semi-rígidos . (Base tratada con ligantes hidráulicos). Constituido por una capa de base tratada con ligantes hidráulicos, o de concreto, la sub-base suele ser de material granular, pudiendo ser estabilizada, el pavimento está formado por una o dos capas de mezcla asfáltica (rodadura e intermedia). (Asphalt Institute, 1997)
- Firmes Rígidos. (Pavimentos de hormigón). Están formados por una losa de hormigón colocada directamente sobre la explanada, o sobre una capa de base granular o estabilizada o un hormigón pobre, la losa de hormigón actúa como capa de rodadura. (Asphalt Institute, 1997)

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes. (Asphalt Institute, 1997)

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo trasversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas. (Asphalt Institute, 1997)

EL comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material. (Asphalt Institute, 1997)

Las cualidades funcionales del firme residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

- La adherencia del neumático al firme
- Las proyecciones de agua en tiempo de lluvias
- El desgaste de los neumáticos

- El ruido en el exterior y en el interior del vehículo
- La comodidad y estabilidad en marcha
- Las cargas dinámicas del tráfico
- La resistencia a la rodadura (consumo de carburante)
- El envejecimiento de los vehículos
- Las propiedades ópticas

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficialmente del pavimento.

Actualmente la reología de las mezclas, está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente asequibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos asfálticos. (Asphalt Institute, 1997)

Como resumen, se puede decir que en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Resistencia a la fatiga

Si la mezcla se usa como capa de rodadura o carpeta asfáltica hay que añadir las propiedades siguientes:

- Resistencia al deslizamiento
- Regularidad
- Permeabilidad adecuada
- Sonoridad

3.1. Origen y Composición

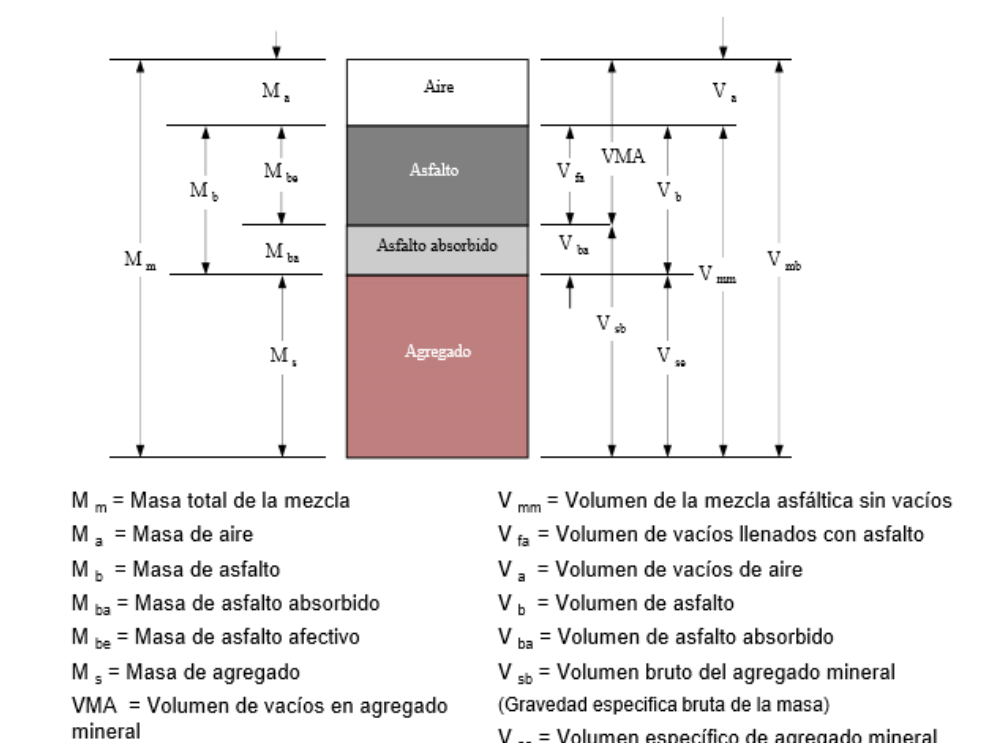
Una mezcla asfáltica consiste en una mezcla uniforme de asfalto y agregados, la cual desde hace muchos años atrás se la viene usando. El uso de éste mecanismo empieza desde la época moderna a finales del siglo XVIII en Europa, donde se utilizaron unas

mezclas de áridos con alquitrán in situ, y posteriormente se empezaron a realizar mezclas asfálticas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales, como consecuencia del desarrollo de la industria del petróleo se comenzaron a emplear los asfaltos de destilación como un subproducto de dicha industria. (Asphalt Institute, 1997)

En la actualidad la utilización de mezclas asfálticas se ha convertido en una opción primordial a la hora de la pavimentación de las vías, para una buena calidad de la carpeta asfáltica, por lo que generan alternativas para la vialidad. Esto hace que se vean nuevas especificaciones en las vías, haciendo que se desarrollen nuevos materiales y aplicaciones para un mejor rendimiento del pavimento, sin embargo deben existir plantas más eficientes y de mayor capacidad. Es por esto que hoy en día se ven mayores controles de calidad, con seguridad industrial y que sean confiables para una eficiencia adecuada y con un personal de excelente capacidad de desarrollo en este ámbito. (Asphalt Institute, 1997)

Las mezclas asfálticas están constituidas de agregados relleno mineral si es necesario, y material asfáltico mezclado en caliente en una planta central, y colocados sobre una base debidamente preparada o un pavimento existente, de acuerdo con lo establecido en los documentos contractuales. Pueden ser producidas por un amplio rango de combinaciones de agregados, cada uno con sus características particulares adecuadas al diseño específico y a sus usos en la construcción. La constitución de la mezcla asfáltica es aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total. (Asphalt Institute, 1997)

Figura N 3.1 Volumetrías de mezclas asfálticas.



Fuente: (V., 2014)

Para poder fabricar una buena mezcla asfáltica de una planta se tiene que seguir un riguroso procedimiento que detallaremos a continuación:

- Primeramente se obtiene el material necesario que se obtuvo del diseño de la mezcla asfáltica, los cuales son dos: agregados finos y gruesos, que en su mayoría son de esta clase:

Tabla N 3.1 Tipos de agregados para mezcla asfáltica.

AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
$\frac{3}{4}$ "	Polvo de piedra (Filler)
$\frac{3}{8}$ "	Arena

Fuente: Cuadro realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

- Los agregados provienen de canteras, ya sean cerca del proyecto o lugares aledaños, que deben ser trasladadas a la planta de asfaltos que en algunos casos están implementadas en las mismas minas para costos menores de transportes.

Foto N 3.1 Acopio de materiales



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

- Todo el material se debe colocar en tolvas, en donde se procede a dosificar todo el agregado necesario para la mezcla.

Foto N 3.2 Tolvas para dosificación



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

- En esta planta todo el material ya dosificado se traslada mediante una banda, la cual la conduce hacia un horno, calentando el material, haciendo que éste cambie de acuerdo al betún que se necesite.

Foto N 3.3 Banda transportadora



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

- En el horno se coloca el betún asfáltico y los agregados para mezclarlos y así obtener el asfalto, cargándolo y llevándolo al lugar donde se lo quiere colocar.

Foto N 3.4 Horno de mezclado



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

3.2. Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. (Asphalt Institute, 1997)

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento. (Asphalt Institute, 1997)

- **Estabilidad**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, proviene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. (Asphalt Institute, 1997)

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con incrementos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con incrementos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. (Asphalt Institute, 1997)

Tabla N 3.2 Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramientos
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamientos y canalización

Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

- **Durabilidad**

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos. (Asphalt Institute, 1997)

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos. (Asphalt Institute, 1997)

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

Tabla N 3.3 Causas y efectos de una poca durabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido agrietamiento o desintegración
Agregado susceptibles al agua (hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado

Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

- **Impermeabilidad**

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad. (Asphalt Institute, 1997)

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados. (Asphalt Institute, 1997)

Tabla N 3.4 Causas y efectos de la permeabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o la falta de compactación	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad

Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

- **Trabajabilidad**

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad pueden ser mejoradas modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o granulometría. (Asphalt Institute, 1997)

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla. (Asphalt Institute, 1997)

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelve tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla. (Asphalt Institute, 1997)

Tabla N 3.5 Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable

Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

- **Flexibilidad**

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasantes. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo). (Asphalt Institute, 1997)

- **Resistencia a la Fatiga**

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. (Asphalt Institute, 1997)

Tabla N 3.6 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Puede ser difícil de compactar
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamientos por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamientos por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

- **Resistencia al deslizamiento**

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplano). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65km/hora. (Asphalt Institute, 1997)

Tabla N 3.7 Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropelante
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: (Asphalt Institute, 1997)

3.3. Mezclas asfálticas en caliente

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente. (Asphalt Institute, 1997)

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capa de rodaduras como para inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificado, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos. (Asphalt Institute, 1997)

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Ellos son el método Marshall y el Método Hveem. En el presente estudio sólo trataremos el método Marshall. (Asphalt Institute, 1997)

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquier de estos métodos de diseño de mezclas

es, principalmente, asuntos de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios. (Asphalt Institute, 1997)

3.4. Diseño de mezclas asfálticas método Marshall

3.4.1. Descripción del método del diseño de las mezclas

El método Marshall usa muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64mm de espesor por 102 mm de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con distintos contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos ensayos primordiales para el diseño de la mezcla del Método Marshall son: la prueba de estabilidad-flujo y el análisis de vacíos-densidad de las muestras compactadas a una temperatura dada. (Asphalt Institute, 1997)

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que debe ser cumplido durante la construcción del pavimento. (Asphalt Institute, 1997)

El Método Marshall, solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1”) o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación. (Asphalt Institute, 1997)

El Método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64 mm (2.5”) de espesor por 102 mm (4”) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. (Asphalt Institute, 1997)

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas. (Asphalt Institute, 1997)

3.4.2. Entorno del método

El concepto del Método Marshall de diseño de mezclas de pavimentación fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple. (Asphalt Institute, 1997)

El cuerpo de Ingenieros decidió adoptar el Método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas. (Asphalt Institute, 1997)

3.4.3. Objetivo

Determinar el contenido óptimo de asfalto con la granulometría encontrada, para poder regir los requerimientos de desempeño, durabilidad y trabajabilidad en nuestro diseño, para llegar a decretar una comparación entre el la mezcla normal y modificada.

3.4.4. Determinación del gravedad específica

La gravedad específica de cada briqueta se la calcula inmediatamente luego de que las probetas recién compactadas a la temperatura indicada que en nuestro caso es de 140°C, se hayan enfriado a la temperatura del ambiente. La gravedad específica es primordial para un análisis correcto al momento de determinar la densidad-vacíos. El en Anexo N 3.3 se especifican los resultados del ensayo respectivo.

Foto N 3.5 Determinación de la gravedad específica en briquetas



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

3.4.5. Prueba de estabilidad y flujo

La prueba de estabilidad se la realiza para determinar la resistencia a la deformación de la mezcla mediante una carga máxima medida en kilogramos, que puede soportar una briqueta de 64 mm de altura y 102 mm de diámetro cuando se realiza el ensayo a una temperatura de 50 °C cargándola en sentido diametral a una velocidad de 51 mm/minuto aproximadamente.

La fluencia que esta medida en centésimas de pulgada nos indica la deformación de la briqueta. La Foto N3.6 representa un medidor de fluencia para determinar la deformación que se presenta durante el ensayo Marshall. La deformación está determinada por la disminución en el diámetro de la briqueta. (Asphalt Institute, 1997)

Foto N 3.6 Prueba de estabilidad y flujo



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

3.4.6. Análisis de densidad y vacíos

Luego de determinar y completar el ensayo de estabilidad y flujo, procedemos a realizar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de briquetas de prueba. El objetivo de éste análisis es de calcular el porcentaje de vacíos que se presentan en la mezcla ya compactada. A continuación detallaremos el análisis de VMA y VFA: (Asphalt Institute, 1997)

- VMA, Vacíos en el agregado mineral

El VMA, está especificado por el espacio intergranular que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla compactada, también se incluyen los vacíos de aire y el contenido de asfalto, lo cual se la expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla

- VFA, Vacíos llenos de asfalto

Estos son aquellos porcentajes de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado que se encuentran llenos de asfalto. El VFA se lo determina en porcentaje al restar los vacíos de aire del VMA, y dividiendo por el VMA.

Foto N 3.7 Análisis de densidad y vacíos

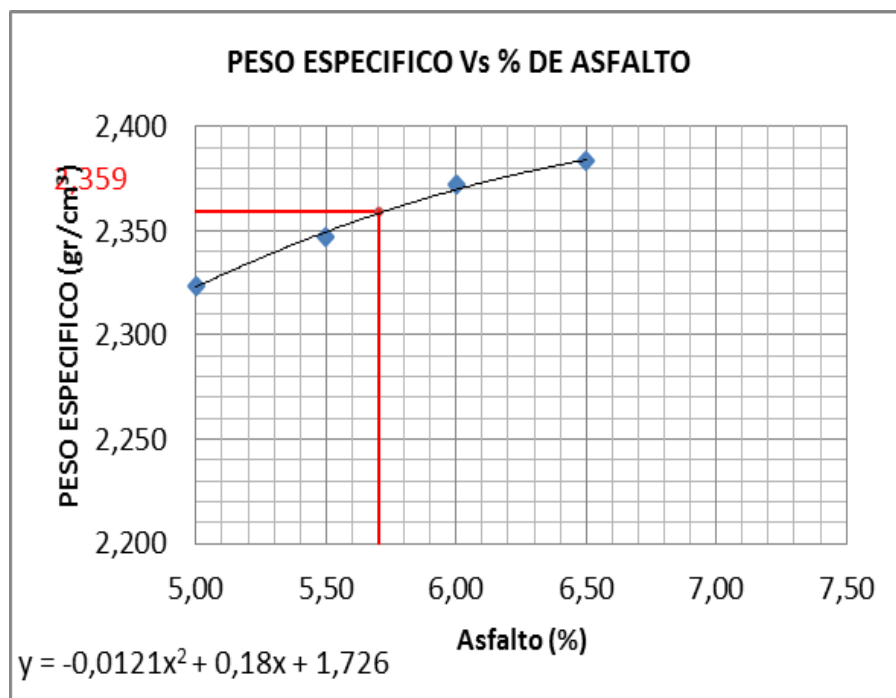


Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

3.4.7. Determinación del contenido óptimo de la mezcla

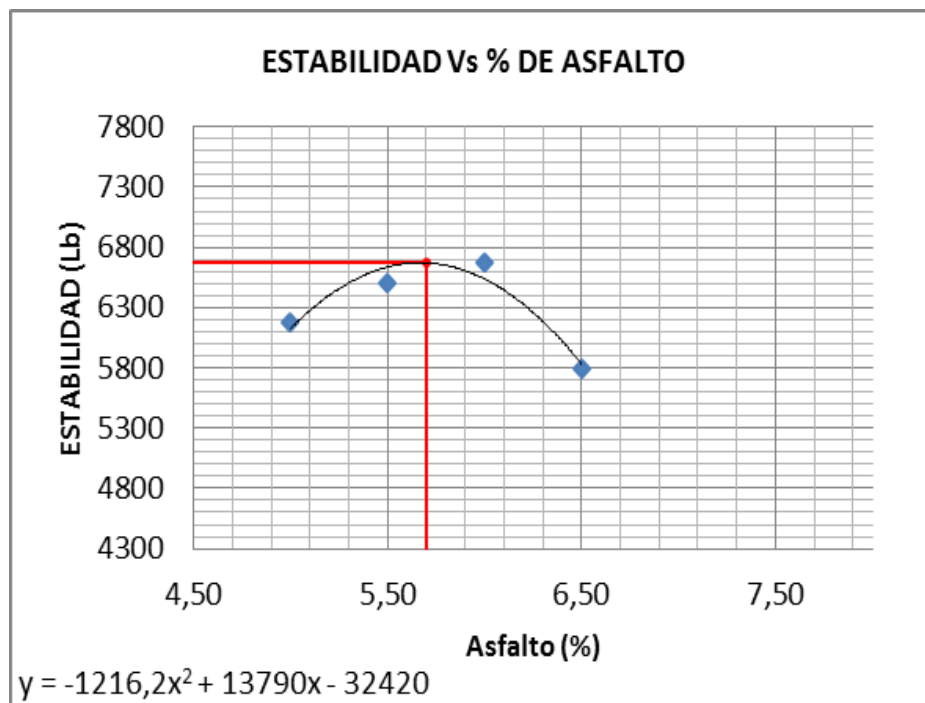
Se determina en base a la granulometría realizada de los agregados pétreos de la mina de Pingulmi que en este caso son de: $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{4}$ " y arena natural para la mezcla asfáltica de capa de rodadura que se detallan en el Anexo N 3.1, tomando en cuenta los resultados de las curvas correspondientes a Gravedad Específica, Estabilidad y Porcentajes de Vacíos que se las verán en las gráficas siguientes. Por medios de estos datos se obtiene el contenido de asfalto la cual los cálculos realizados están en el Anexo N 3.2, que es la cantidad de asfalto que debe ser incluida al diseño haciendo que resulten idóneas para las cualidades necesarias de la mezcla. Con los datos obtenidos de los ensayos descritos anteriormente se realiza los cálculos de las propiedades de la mezcla asfáltica con su respectiva comprobación del contenido óptimo en el Anexo N 3.4.

Gráfica N 3.1 Peso específico vs % de asfalto



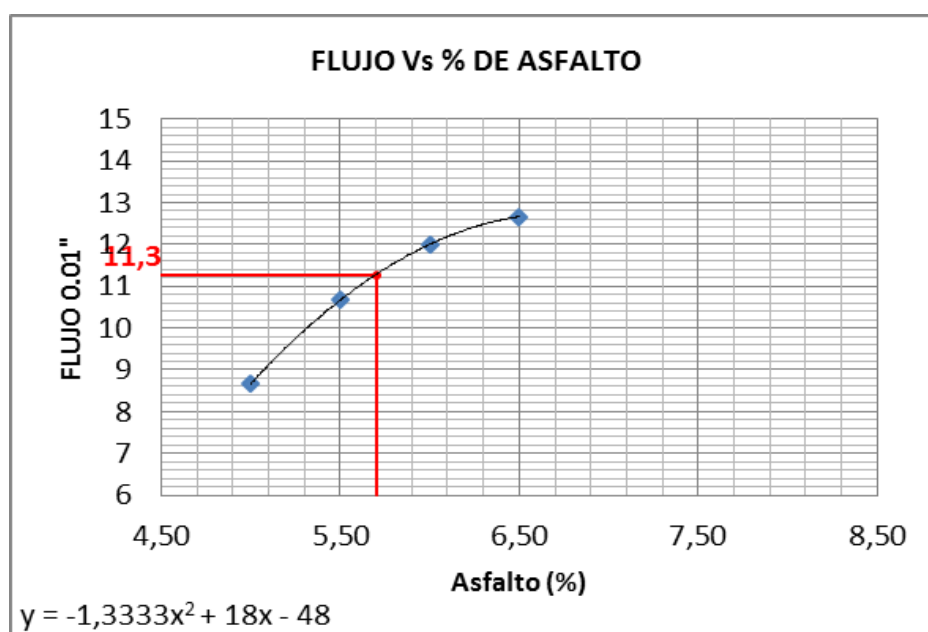
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.2 Estabilidad vs % de asfalto



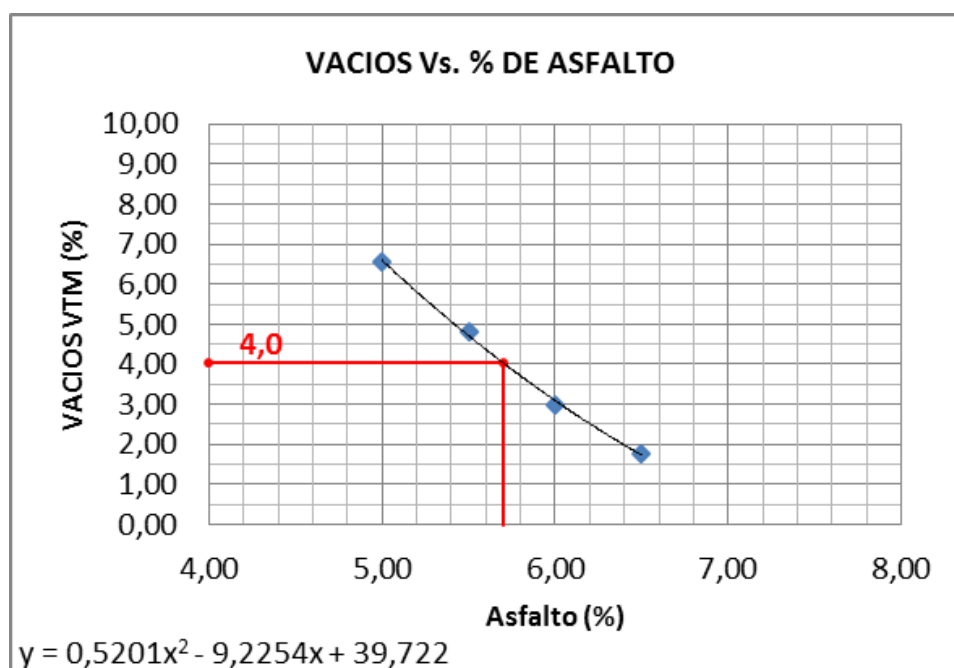
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.3 Flujo vs % de asfalto



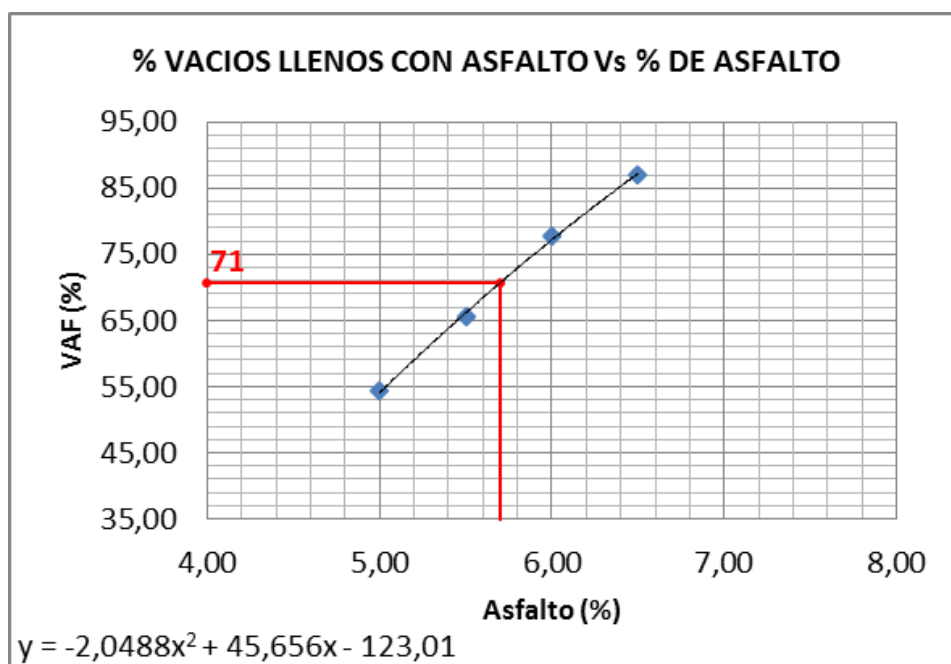
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.4 Vacíos vs % de asfalto



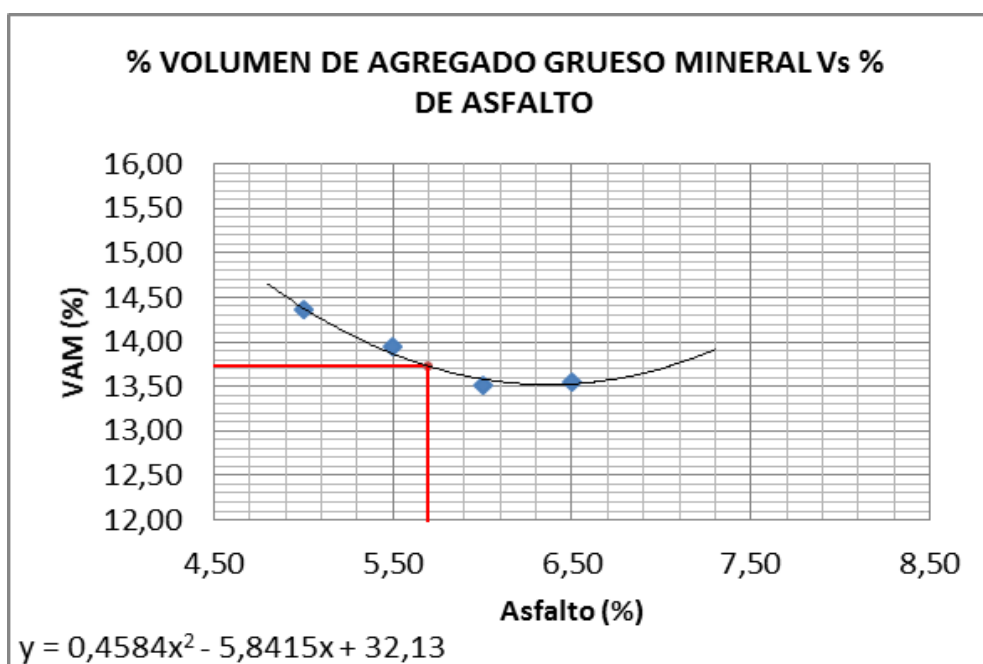
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.5 % Vacíos llenos con asfalto vs % de asfalto



Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.6 % Volumen de agregado grueso mineral vs % de asfalto



Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

3.5. Porcentaje óptimo de la mezcla

El porcentaje óptimo de la mezcla fue de 5,7% de asfalto, se obtuvo tras realizar el ensayo Marshall especificado anteriormente con cuatro tipos de porcentajes 5%, 5,5%, 6% y 6,5%. Con el mismo se realizan tres briquetas de comprobación, añadiendo el ensayo RICE para determinar la máxima gravedad y densidad específica de la mezcla óptima, y así ejecutar los ensayos con AC-20 normal y modificado con caucho pulverizado al 1%, 1,5% y 2%.

Foto N 3.8 Briquetas distintos porcentajes de mezcla



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

3.6. Ensayo de módulo dinámico elástico (ASSHTO TP 62-07)

Mediante este ensayo se determinan las principales propiedades de las mezclas asfálticas en caliente pertenecientes a métodos empíricos de diseño de pavimentos flexibles. El método define la relación entre tensiones impuestas y deformaciones resultantes, en donde la temperatura y la frecuencia de ensayo son de fundamental importancia como también se encuentran otros factores como la rigidez del ligante asfáltico, los contenidos volumétricos del asfalto y vacíos, y la composición granulométrica de los agregados

El equipo de ensayo tiene un sistema de medición mediante dos configuraciones diferentes: compresión axial y tracción indirecta a frecuencias de 20, 10, 5, 1, 0,5 y 0,1 Hz y con temperaturas que pueden ir de -10 a 60 °C. Posterior al ensayo con los datos obtenidos se realiza el trazado de las curvas maestras.

Las muestras para realizar el ensayo fueron de acuerdo al diseño original y tenían un peso de material más asfalto de 5,2 kg, la cual después de realizada las briquetas con asfalto normal y modificado con caucho al 1, 1,5 y 2%, se procede a extraer un núcleo más pequeño siendo éste el utilizado para el ensayo.

Como información adicional, el equipo puede ser condicionado para medir el Módulo Resiliente de acuerdo a la Norma AASHTO T 294 -92, Mezclas bituminosas – Base Granular, Sub base y Subrasante.

Foto N 3.9 Mezcla en molde para compactar giratoriamente



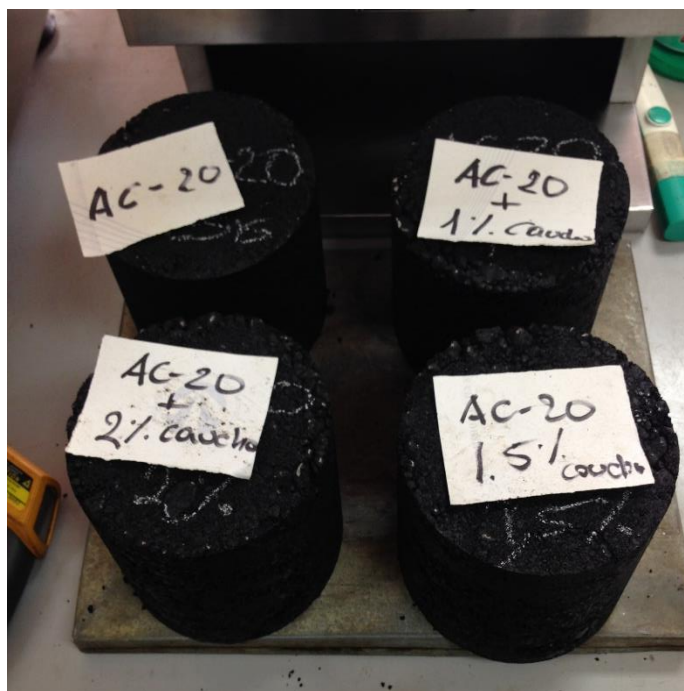
Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 3.10 Compactador giratorio



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 3.11 Briquetas de 5200 gr



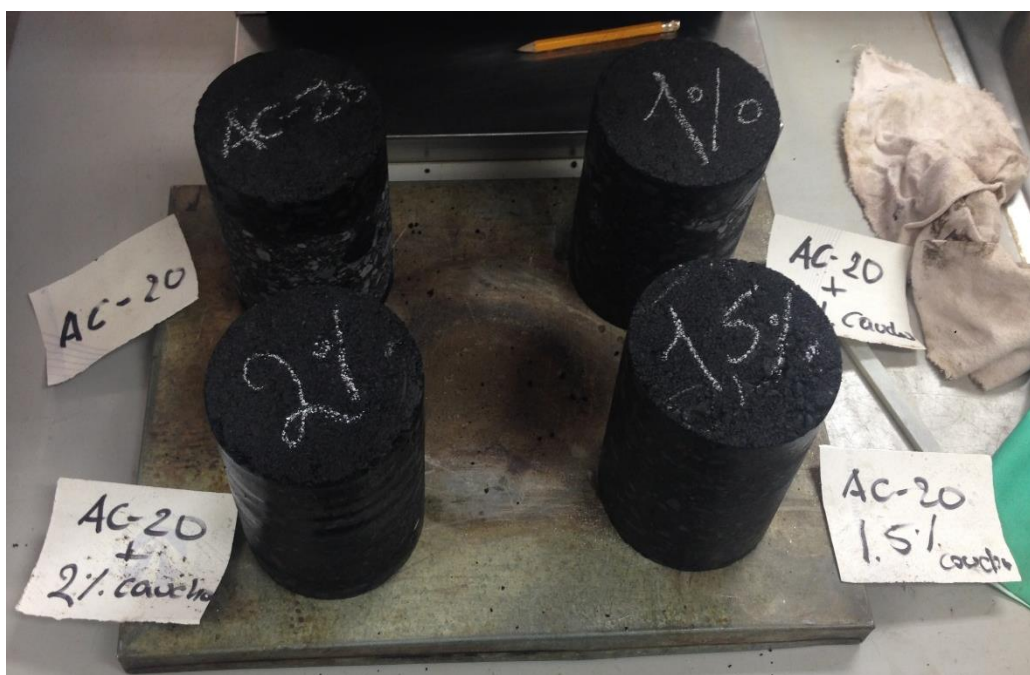
Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 3.12 Extracciones del núcleo de briquetas



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 3.13 Núcleos extraídos



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Tabla N 3.8 Dimensiones de Probetas para ensayo “Módulo Dinámico”

Probeta	Diametro	Altura	Distancias de NODOS	
			1	2
AC - 20	101,23	128,00	81,97	81,43
AC - 20 + 1% CAUCHO	101,28	128,6	81,84	82,35
AC - 20 + 1,5% CAUCHO	101,31	128,68	81,92	82,18
AC - 20 + 2% CAUCHO	101,24	128,25	81,62	81,98

Fuente: Cuadro realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Para realizar el ensayo de Módulo Dinámico Elástico se procedió con la determinación de los pesos de cada uno de los materiales retenido por tamiz con el porcentaje óptimo de asfalto, cuyos resultados se detallan en el Anexo N 3.5. Ya realizado el ensayo de Módulo se registran los resultados en el Anexo N 3.6; N 3.7; N 3.8 y N 3.9.

3.7. Análisis de Resultados

3.7.1. Resultados ensayos Asfaltos y Marshall.-

Una vez realizados los ensayos de laboratorio, se presentan un resumen general de los resultados obtenidos tanto para el asfalto normal y el modificado con caucho con los porcentajes especificados anteriormente, concluyendo con los resultados de la mezcla asfáltica del Método Marshall.

Foto N 3.14 Conjunto de ensayos de asfalto



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 3.15 Modificación del asfalto con caucho



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Tabla N 3.9 Requerimientos carpeta asfáltica + caucho

Requerimiento para carpeta asfáltica + caucho

Especificación ASTM D-6114-97

Propiedades		Norma	Asfalto Original AC - 20	Porcentajes de Aditivo				
				1%	1,5%	2%	3%	7%
Viscosidad Cp.	A 135°C	ASTM D 3381	334	399	256	471	379	1020
	A 175°C		78	79	79	89	86	130
Pen. 25°C 10og		ASTM D 5	70	65	62	71	63	54
P. de Ablandamiento		ASTM D 36	48	49	49	51	48,5	53
Ductilidad	Por recuperación %	AASHTO T 301 - 99		24%	24%	22,5%	19%	15%
	Normal	INEN 916	150	21	18	14	18	11
Punto de inflamación		AASHTO T79	252	252	274	266	272	254
Punto de llama		ASTM D36	280	282	306	304	310	284
Densidad		AASHTO T228	1,009	1,011	1,006	0,95	1,01	0,99
Ensayos del residuo	Penetración	ASTM D5	43	41	40	40	37	33
	Ductilidad	INEN 916	68					
	Perdida de masa	AASHTO T240	0,15	0,18	0,11	0,18	0,22	0,25
Resiliencia %, 25°C		ASTM D 5329						

NOTA: "El caucho proviene de la empresa ECO CAUCHO"

Fuente: Especificaciones ASTM D-6114-97

Foto N 3.16 Mezcla y obtención de briquetas modificadas con caucho



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

Foto N 3.17 Briquetas ensayadas



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

En el Anexo 3.11 relacionado con los resultados de la gravedad específica de la mezcla, se demuestra la variación de ésta propiedad con la incorporación de los porcentajes de caucho, permitiendo la comparación de resultados entre asfalto normal y modificado.

Tabla N 3.10 Requerimientos para carpeta asfáltica + caucho

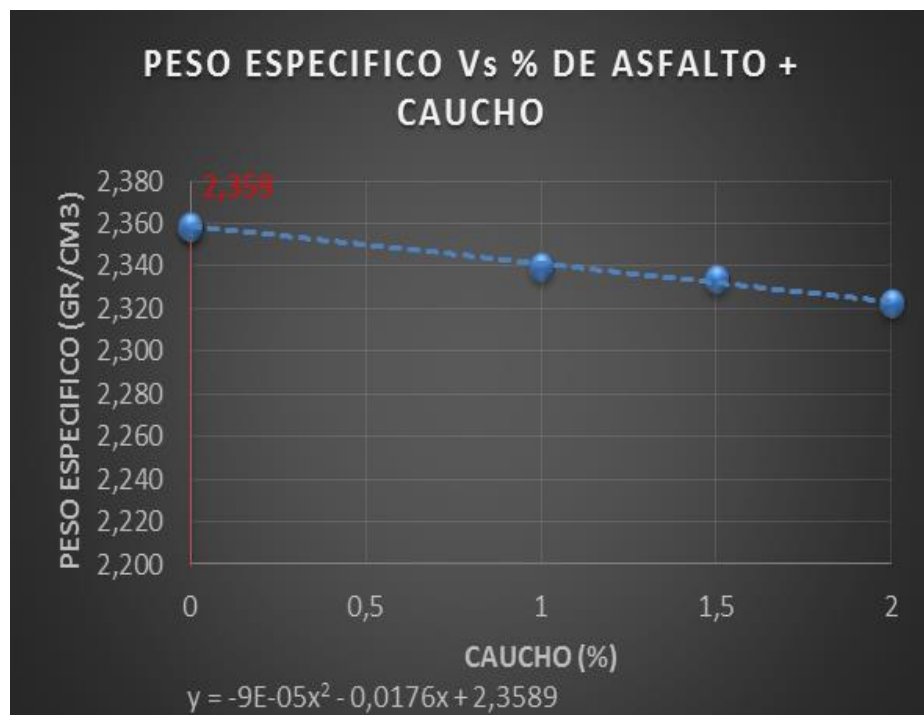
Requerimiento para carpeta asfáltica + caucho

Especificación ASTM D-1559 Y AASHTO T 245

% Asfalto	% Caucho	MUESTRAS	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK		ESTABILIDAD				FLUJO 0,01"	
			POR MUESTRA	PROMEDIO	DIAL	F. CORR.	CORREG		POR MUESTRA	PROMEDIO
							POR MUESTRA	PROMEDIO		
5,70	0,0	1	2,334	2,359	6313,2	1,03	6.484	6.798	13	13
		2	2,389		6651,1	1,07	7.123		14	
		3	2,354		6519,7	1,04	6.786		13	
	1,0	1	2,337	2,340	6294,4	1,03	6.472	6.565	11	11
		2	2,342		6594,8	1,03	6.801		12	
		3	2,341		6181,7	1,04	6.422		11	
	1,5	1	2,326	2,334	5739,7	1,03	5.939	6.381	8	11
		2	2,344		6857,3	1,03	7.080		13	
		3	2,332		5974,9	1,03	6.125		11	
	2,0	1	2,333	2,322	6031,3	1,03	6.206	5.731	12	11
		2	2,320		5692,6	1,02	5.793		11	
		3	2,315		5108,2	1,02	5.193		11	

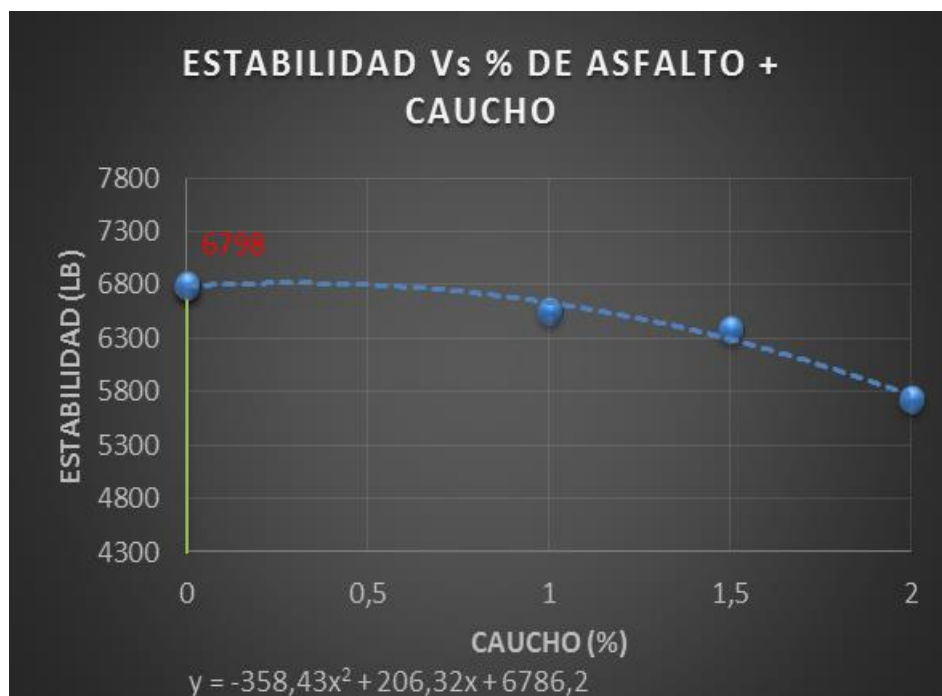
Fuente: Especificaciones ASTM D-1559 y AASHTO T245

Gráfica N 3.7 Peso específico vs % de asfalto + caucho



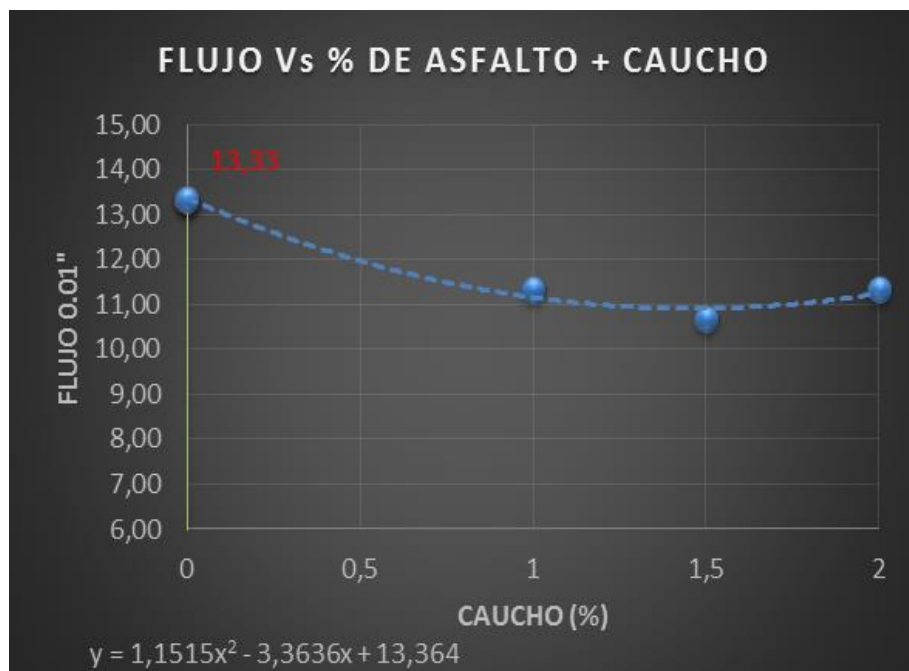
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.8 Estabilidad vs % de asfalto + caucho



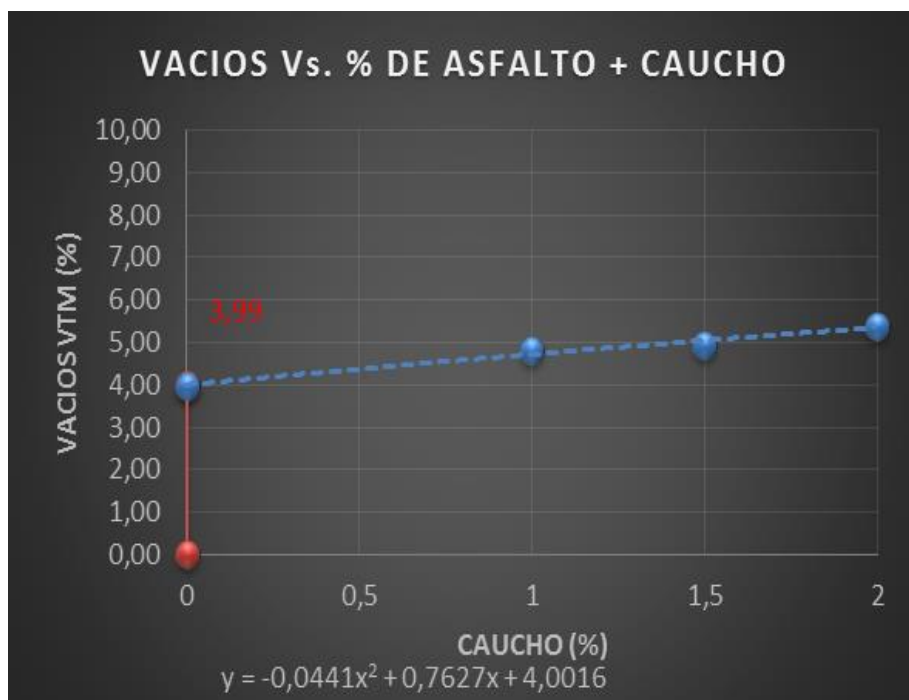
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.9 Flujo vs % de asfalto + caucho



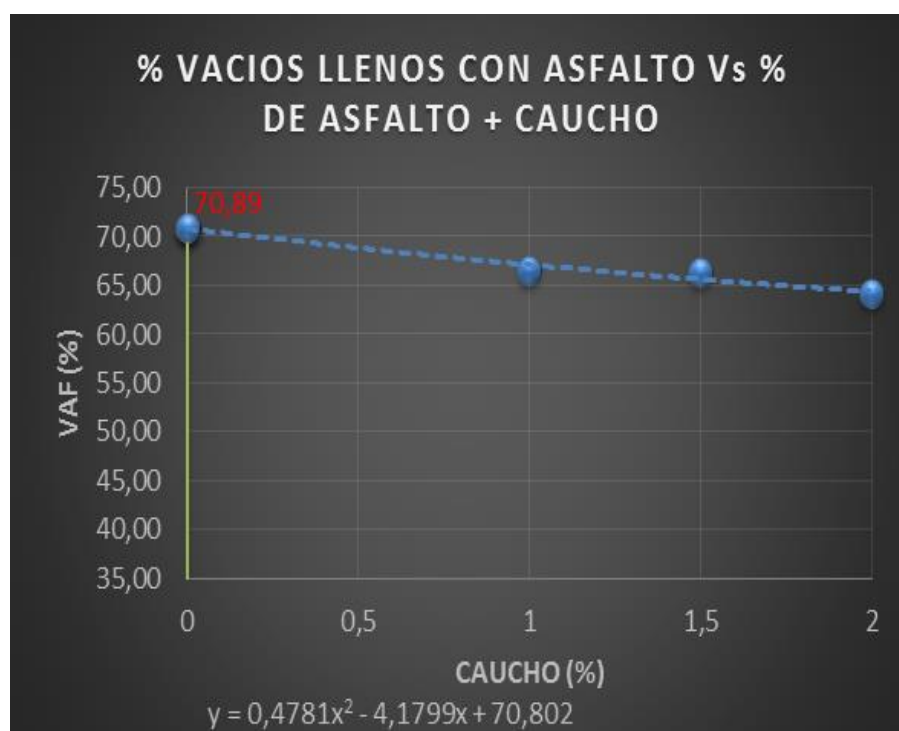
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.10 Vacíos vs % de asfalto + caucho



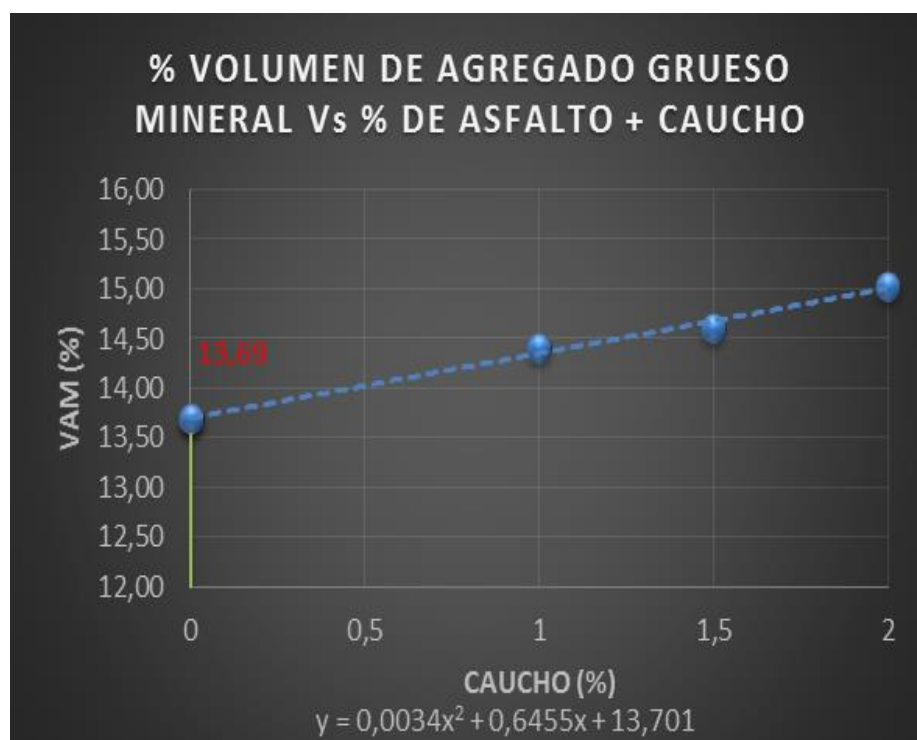
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.11 % Vacíos llenos con asfaltos vs % de asfalto + caucho



Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.12 % Volumen de agregado grueso mineral vs % de asfalto + caucho



Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

3.7.2. Resultados Módulo Dinámico Elástico (ASSHTO TP 62-07)

Para poder concluir con la investigación, se verifican los resultados del ensayo de Módulo Dinámico, que permitirán sacar conclusiones comparativas específicas. Por lo que a continuación se presenta un resumen general de los resultados obtenidos tanto para el asfalto normal y el modificado con caucho.

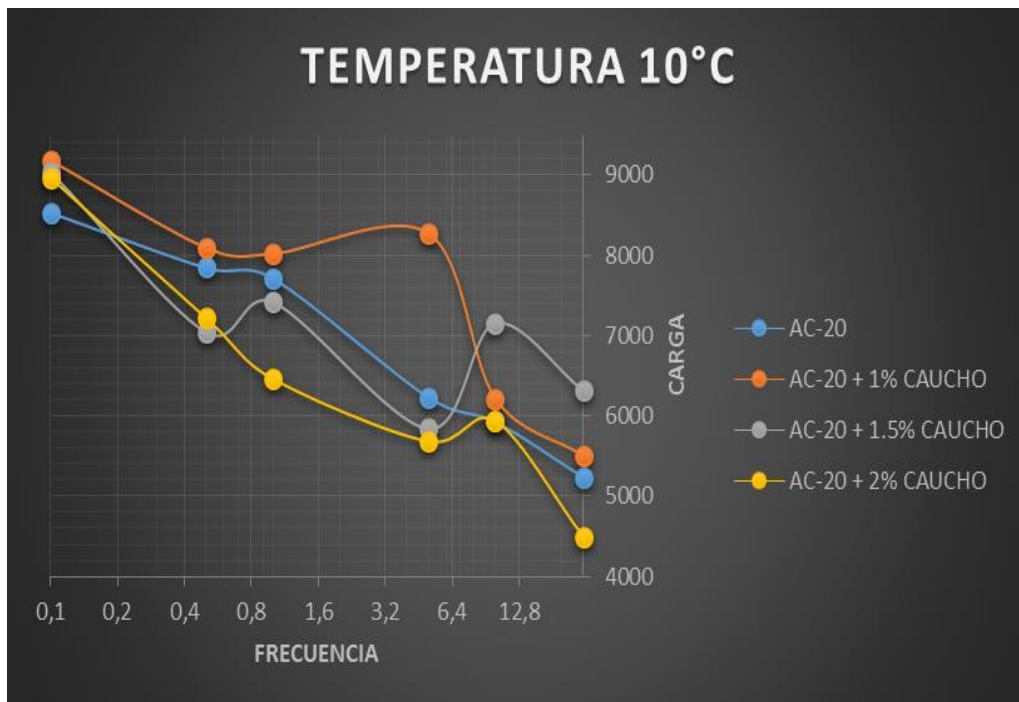
Foto N 3.18 Ensayo módulo dinámico elástico



Fuente: Fotos tomadas por los estudiantes autores de la presente disertación

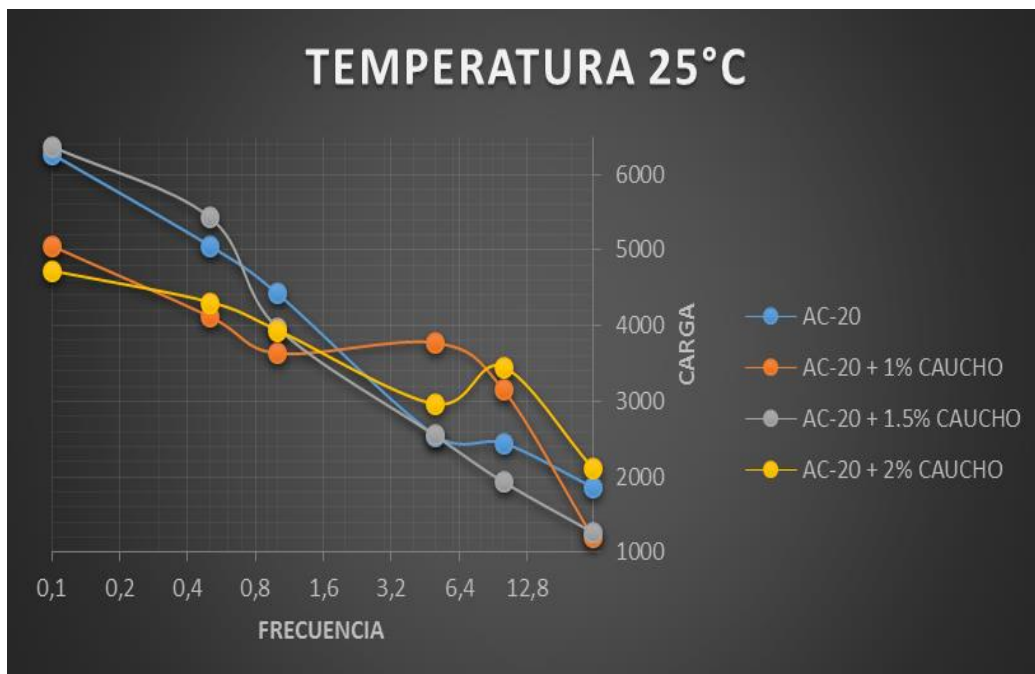
Los resultados obtenidos en el ensayo de Módulo Dinámico Elástico se detallan de forma resumida en el Anexo 3.12.

Gráfica N 3.13 Modulo dinámico elástico a 10°C



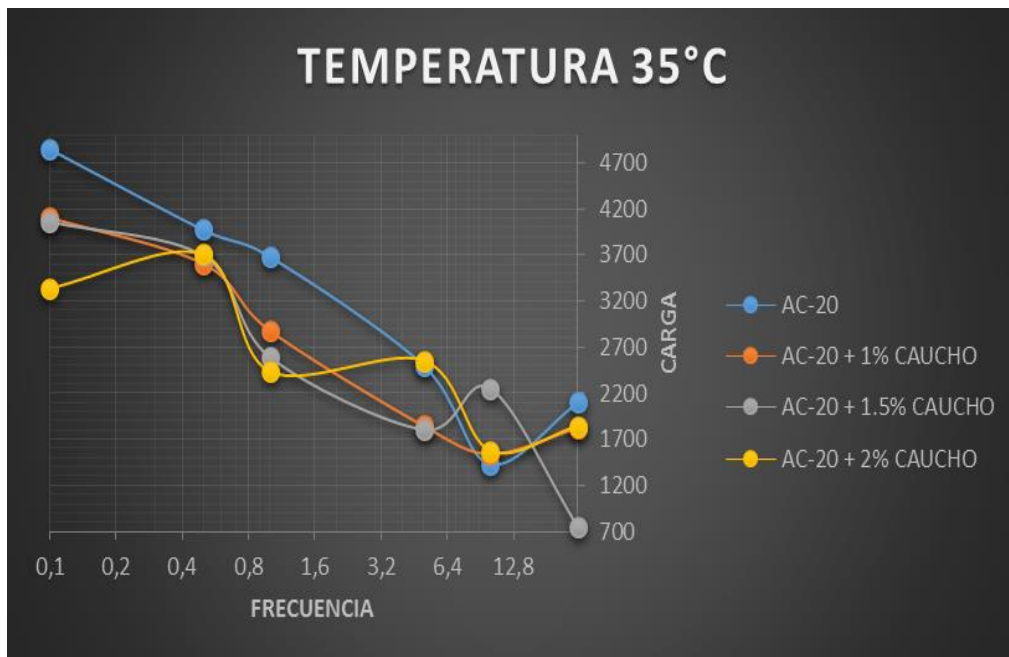
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.14 Modulo dinámico elástico a 25°C



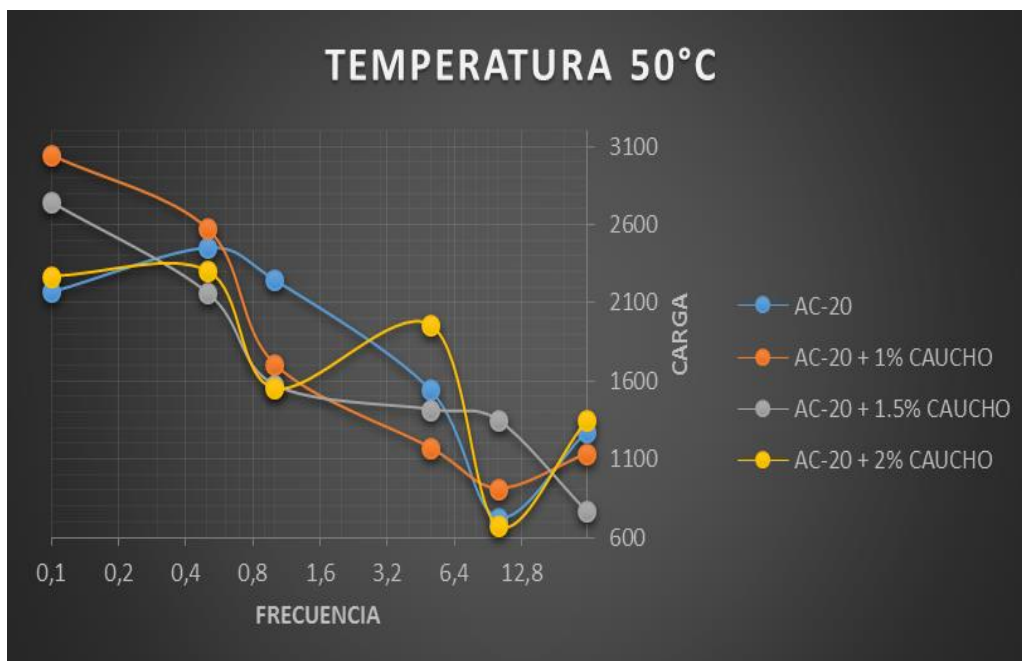
Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.15 Modulo dinámico elástico a 35°C



Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Gráfica N 3.16 Modulo dinámico elástico a 50°C



Fuente: Gráfica realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Desde el punto de vista constructivo una adecuada elección del método a emplearse para la ejecución de una obra de infraestructura, depende mucho de una buena planeación basada en primera instancia en una adecuada elaboración del presupuesto que significa llegar a buen término cualquier proyecto. Esta adecuada planeación nace de la elaboración del presupuesto que debe basarse en la evaluación correcta, primeramente del tipo de obra que va a realizarse y en segunda instancia de la utilización del equipo y maquinaria a emplearse que permita llegar cumplir el objeto del proyecto. Otra no menos importante para la ejecución de estos trabajos es la participación del esfuerzo humano, el mismo que debe ser capacitado en cada uno de las áreas de trabajo que comprende un proyecto.

Una óptima utilización de la mano de obra se obtiene primero capacitando al personal para lograr un máximo rendimiento, que debe ser compensado con un buen salario. Por lo tanto este rubro para la definición del costo total de la obra es de vital importancia, y por lo tanto para determinar los costos unitarios en cada uno de los rubros debe establecerse un pago adecuado para la mano de obra a utilizarse.

La ley de contratación pública establece en nuestra legislatura la remuneración básica en cada una de las especialidades que requiere la construcción de cualquier tipo de obra, contando con la fijación del sueldo unificado, el décimo tercero sueldo, décimo cuarto sueldo, el aporte patronal y fondo de reserva que son parte integrante para la definición del costo horario que establecerá finalmente el precio unitario de cada una de las actividades a ejecutarse.

4.1. Costos Directos

4.1.1. Materiales.-

Los materiales empleados en los ensayos son para una carpeta asfáltica de $\frac{3}{4}$ cuyas especificaciones se encuentran detalladas en el capítulo II.

4.1.1.1. Agregados

Material: Arena Natural, Arena Triturada $\frac{1}{4}$ y Ripio $\frac{3}{4}$

Gravedad específica bulk de la mezcla de agregados = 2578 kg/m³

Gravedad específica del asfalto = 1015 kg/m³

Gravedad específica del agua = 1000 kg/m³

La carpeta asfáltica colocada para un tramo de Cayambe es de 7,5 cm de espesor, con lo cual obtenemos un volumen de 0.075m³

Se necesita 1,1316 kg de mezcla de agregados para una briqueta, con un porcentaje de 5,7% de asfalto, dando el peso total de 1,2 kg y un volumen promedio de $505,97 \times 10^{-6}$ m³

$$\frac{0,075 \text{ m}^3 * 1,2 \text{ Kg}}{505,97 * 10^{-6} \text{ m}^3} = 177,88 \text{ Kg}$$

Considerando un 20% de esponjamiento más por compactación, se tiene 213,46 kg de mezcla asfáltica.

4.1.1.1.1. Agregados para la mezcla

% de grueso = 35,00

% de fino = 65,00

213,46 kg x 5,7% menos = 201,29 kg de agregado mezclado, obteniendo 70,45 kg de agregado grueso y 130,84 kg de agregado fino.

$$\frac{70,45 \text{ Kg}}{2578 \text{ Kg/m}^3} = 0,027 \text{ m}^3$$

$$\frac{130,84 \text{ Kg}}{2578 \text{ Kg/m}^3} = 0,051 \text{ m}^3$$

4.1.1.1.2. Asfalto

La cantidad de asfalto utilizada en cada diseño es la misma 213,46 kg x 94,3% menos = 12,17 kg.

$$\frac{12,17Kg * 100^3cm^3 * 1Lts. * 1Gal.}{1000\frac{Kg}{m^3} * 1m^3 * 1000cm^3 * 4 Lts.} = 3,04 Gal.$$

4.1.1.1.3. Caucho

Para el análisis de precios unitarios, el asfalto más caucho pulverizado en las proporciones de 1%, 1,5% y 2%, la diferencia de costo por concepto de caucho no es significativo, por lo tanto para determina el costo unitario se le toma únicamente el más representativo (caucho al 2%).

Pasante tamiz # 50:

1% = 0,69 gramos

1,5% = 1,04 gramos

2% = 1,4 gramos

Para objeto de la investigación se añadió un costo adicional por la compra del caucho ya regenerado, vulcanizado y pulverizado, cuyo valor es de 0,25 \$/kg que será tomado en cuenta en el análisis de precios unitarios.

4.1.1.1.4. Diésel

La cantidad de Diésel adoptado es de 0,80 galones que es el valor que especifica el MTOP, dependiendo del rendimiento de la maquinaria de la ubicación del proyecto además de las horas de trabajo.

4.1.1.2. Mano de obra

La cuadrilla tipo utilizada esta detallada en los anexos de análisis de mano de obra, en donde se describe los costos horas hombre. Para el objeto de la investigación se diseña la carpeta asfáltica de 7,5 cm, estimando una producción 1100 m²/día con jornadas de trabajo de 8 horas. La utilización del asfalto-caucho no influye en la producción metros cuadrados/día de la carpeta asfáltica, ni en el proceso constructivo porque se considera como un elemento constitutivo del asfalto.

La zona de trabajo desarrollado se consideró en la zona de Cayambe (Sierra) sector donde se ubica la mina de Pingulmi, hay que considerar que en otras zonas como Costa y Oriente el ítem tiende a incrementarse por razones de producción y costos de salarios de mano de obra. En cuanto se refiere al abastecimiento del material, considerando cercano al sitio de la obra, por lo que el costo de transporte del material se aproxima a 0,15 \$/km que se toma en cuenta dentro del rubro respectivo.

El Salario Real Horario se determina mediante el cálculo detallado en los Anexos: N 4.1; N 4.2; N 4.3; N 4.4; N 4.5; N 4.6; N 4.7 y N 4.8, valores que son componentes para la determinación del Precio Unitario.

4.1.1.3. Equipo

En toda obra específica de construcción, es necesario proceder con la planeación para su ejecución económica y eficiente, esto dependerá de las condiciones o circunstancias a elegirse para la ejecución del trabajo. Esta planeación permite seleccionar la maquinaria idónea para la elaboración de mezclas asfálticas, donde los valores representados en los cálculos realizados consta el análisis de costo horario de la maquinaria, tomando en cuenta costo de propiedad, operación, mantenimiento y vida útil.

4.2. Costos Indirectos

A los precios unitarios deben sumarse los costos indirectos que son parte integral de éste análisis establecido para la ejecución de un rubro de una determinada obra, éste porcentaje varía del 15 al 30%. Para objeto del análisis se adopta el 21 % del valor de los costos directos, lo cual se desglosa en 5% de imprevistos e impuestos, 10% para gastos generales y administrativos y 6% de utilidades.

4.3. Precio unitario total

El costo final del Análisis de Precios Unitarios es la suma de los Costos Directos más los Costos Indirectos. Considerando el análisis realizado anteriormente se obtuvo los siguientes resultados:

- Carpeta Asfáltica de 7,5 cm de espesor:

Costo Directo Total: 7,81 \$/m²

Costo Indirecto Total: 1,64 \$/m²

Costo Total: 9,45 \$/m²

- Carpeta Asfáltica de 7,5 cm de espesor con asfalto modificado con caucho al 2%:

Costo Directo Total: 7,87 \$/m²

Costo Indirecto Total: 1,65 \$/m²

Costo Total: 9,52 \$/m²

Los resultados especificados anteriormente se los refleja en los Anexos N 4.9 para asfalto normal y N 4.10 para asfalto modificado con caucho al 2%, en la que consta todos los parámetros que nos permite obtener el Precio Unitario del rubro de Capa de Rodadura de Hormigón Asfáltico mezclado en Planta e=7,5 cm.

Tabla N 4.1 Análisis de mano de obra



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Análisis Mano de Obra: Horas Hombre

Rubro: Carpeta Asfáltica de 7,5 cm de espesor, unidad m²

Trabajador	Categoría	Cantidad	Producción	Horas Hombre							
				OTA	OC	IO	OPA	Pe	OC	ORA	Ay Ma
Operador de Terminadora de asfalto	EO-C2-G2	1	1100	0,005128							
Operador de cargadora	EO-C1-G1	1	1100		0,005128						
Inspector de Obra	EO-B3	1	1100			0,005128					
Operador de Planta Asfáltica	EO-C2-G2	1	1100				0,005128				
Peón	EO-E1	14	1100					0,005128			
Operador Calderista	EO-C2-G2	2	1100						0,005128		
Operador Rodillo Autopropulsado	EO-C2-G2	2	1100							0,005128	
Ayudante de Maquinaria	EO-C3	2	1100								0,005128

Elaborado por: Antonio Páez y Alberto Valarezo.

Fuente: (CAMICON, 2015)

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los agregados finos y gruesos, cumplen con todos los requisitos establecidos en las normas ATSM y AASHTO en las que tienen relación a: Gravedad Específica, Desgaste a los Sulfatos, Desgaste ensayo Máquina de los Ángeles, Deletéreos, Equivalente de Arena y Contenido Orgánico, para el diseño de carpeta asfáltica.

La granulometría de los agregados de la mina Pingulmi, cumplen con las especificaciones establecidas en las normas INEN y MOP, para las características de calidad de la carpeta asfáltica tipo “C” adoptada, las cuales están de acuerdo con las exigencias de las normativas vigentes NEVI 12.

El reciclado de las llantas para la industria del reencauche produce un caucho triturado, el cual proviene de un proceso de reciclado, vulcanizado y pulverizado; el material producto de este proceso fue tamizado para obtener un caucho de características finas (pasante N°50), para la utilización en la mezcla asfalto más caucho.

Al añadir caucho en porcentajes de 1, 1.5 y 2% en el asfalto, la viscosidad aumenta con relación al cemento asfáltico normal, produciendo que la carpeta asfáltica presente ahuellamientos y fisuras a corto plazo.

Las Normas INEN 916, ASTM D 113 Y AASHTO T 51-00, establecen que en la ductilidad el asfalto debe deformarse por alargamiento como mínimo 90 cm; el valor obtenido en el asfalto normal fue de 150 cm que difiere con el asfalto modificado con caucho el cual fue de 20 cm, muy por debajo de la normativa, esto se presenta porque el caucho crea grumos al asfalto afectando sus propiedades elásticas.

Partiendo de lo establecido en los criterios de diseño, que nos indica que el contenido óptimo de asfalto es aquel con el que se logra obtener el 4.0% de vacíos con aire, es así que con este contenido las demás propiedades deben cumplir con las especificaciones y normas respectivas; para el diseño de asfalto normal se obtiene 3,99% de vacíos cumpliendo la normativa, el cual es menor al del cemento asfáltico con caucho considerando los porcentajes propuestos los cuales son: 5.40, 4.92 y 4.81%, de vacíos

correspondiente al 2, 1.5, 1% de caucho respectivamente, es decir, mientras mayor es el porcentaje del caucho, mayor es el porcentaje de vacíos.

La estabilidad de la mezcla asfáltica disminuye al colocar el caucho, dando como resultado una menor resistencia a las deformaciones, haciendo que ésta se vuelva más flexible; sin embargo esta prueba cumple con los parámetros establecidos en el Método Marshall, que especifica que deben ser mayores a 2200 libras.

Los resultados obtenidos del Módulo Dinámico Elástico establecido por la norma AASHTO TP 62-07, son variables, debido que son función de la carga y frecuencia. El comportamiento se vuelve errático cuando se modifica la mezcla asfáltica con caucho, haciendo que el módulo dinámico elástico no se estabilice; esto se demuestra al comparar las variaciones mostradas en las gráficas de “Módulo dinámico elástico”, a las mismas frecuencias pero a diferentes temperaturas.

El Módulo Dinámico disminuye al aumentar caucho, ya que en las gráficas de comparación, el asfalto modificado al 2% tiende a estar siempre bajo la curva del asfalto normal, es decir, que el caucho se fatiga con facilidad bajo los estados de carga que se están aplicando, a diferencia del asfalto normal que se recupera mejor ante las mismas cargas.

El análisis de precios unitarios demuestra que el costo por la utilización del caucho no es significativa, ya que el valor de la carpeta asfáltica modificada con caucho al 2% (como referencia), es de 0.74% más que de la carpeta asfáltica normal; este incremento de precio se justifica considerando los costos que representa un proceso de remediación ambiental.

El caucho es un polímero elástico, para que actúe como ligante debe fundirse a altas temperaturas o utilizar diluyentes; en esta investigación no se contempla ninguna de estas dos alternativas de mezclado; debido que el asfalto a más de 170°C se quema, y con el uso de diluyentes cambia sus propiedades y características.

Debido a que en nuestro medio no se dispone de molinos trigonales para modificar molecularmente al asfalto y así formar un solo elemento caucho – asfalto; la presente investigación se la realizó utilizando un taladro con aspas a una temperatura máxima de 170 °C, y con un tiempo mínimo de 20 minutos; obteniendo resultados diferentes a los esperados, es decir obtener un asfalto de mejor calidad.

5.2. Recomendaciones

Se debe implementar un molino trigonal, con la finalidad de lograr una mezcla adecuada asfalto-caucho, de tal forma que logre modificar la estructura molecular del asfalto, como un solo elemento; y así lograr un asfalto más flexible, de manera que se reduzcan las microgrietas que se producen en la superficie de rodadura y el desgaste prematuro de la vía.

Con el fin de tener mejores resultados en los ensayos de laboratorio se debería implementar la metodología SUPERPAVE que permite obtener mezclas asfálticas con propiedades y características óptimas, en vez del ensayo Marshall.

Por ultimo implementar plantas de reciclaje de llantas para la utilización en la estructura del pavimento, y sean parte de una solución ambiental, las constructoras e instituciones que rigen la vialidad del país; ya que hoy en día prima una remediación ambiental para una mejor calidad de vida en todas las grandes ciudades del mundo, en donde el sector automotriz crece sin medida.

BIBLIOGRAFÍA

- APIA XXI. (s.f.). Manuales técnicos para diseño de carreteras de bolivia. *Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Volumen IV*, 3.
- Asphalt Institute. (1997). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Serie de Manuales No 22 (MS-22).
- CAMICON. (2015). Revista de la cámara de la industria de la construcción. *Revista construcción N 239*.
- Carlos, c. C.-V. (2007). *Repositorio Universidad Tecnica del Norte*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/132/7/03%20REC%2088%20RESULTADOS.pdf>
- ECO Caucho. (14 de Enero de 2015). *Ecocaucho*. Obtenido de <http://ecocaucho.com.ec/index.php/k2-items/servicio/reciclaje>
- Encarnación Cano Serrano, L. C. (2012). Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso. *Vtmi+d*, 7-29.
- INEN. (2010). *Aridos para hormigon*. Norma NTE INEN 698:2010 primera revisión 2010-06.
- Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE). (Septiembre de 2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA2/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/PICHINCHA/CAYAMBE/IEE/MEMORIA_TECNICA/mt_cayambe_geopedologia.pdf
- KAHL. (14 de Noviembre de 2014). *AKAHL*. Obtenido de <http://www.akahl.de/akahl/images/Presse/Altreifen/Granulate.jpg>
- María Chiriboga, R. L. (2007). Incorporación e incidencia del caucho como elemento constitutivo en mezclas asfálticas en caliente para pavimentación. Quito, Pichincha, Ecuador: Tesis/625.82/C445i.

V., M. D. (Noviembre de 2014). Capacitación del Personal Técnico Laboratorio Asfaltos Ministerio de Transportes y Obras Públicas . Quito, Pichincha, Ecuador.

Anexo N 5.1 Informe de resultados gravedad específica de los agregados gruesos

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
FECHA: miércoles, 15 de abril de 2015
MUESTRA: Agregados pasante 3/4 " retenido No.4

REALIZADO POR: Antonio Páez G.
Alberto Valarezo
YACIMIENTO: Mina Pingulmi
LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

GRAVEDAD ESPECIFICA EN AGREGADOS GRUESOS ASTM C-127

A- PESO SECO 4898,5 g
B- PESO SUPERFICIE SECA SATURADA 5000,0 g
C- PESO EN AGUA 3035,9 g

$$\text{GRAVEDAD BULK } G_{sb} = \frac{4898,5}{5000 - 3036} = \frac{4898,5}{1964} = 2,494$$

$$\text{GRAVEDAD S.S.S. } G_{ss} = \frac{5000}{5000 - 3036} = \frac{5000}{1964} = 2,546$$

$$\text{GRAVEDAD APARENTE } G_{sa} = \frac{4898,5}{4899 - 3036} = \frac{4898,5}{1863} = 2,630$$

$$\text{ABSORCION } Abs\% = \frac{5000 - 4898,5}{4899} = \frac{102}{4899} \times 100 = 2,07$$

OBSERVACIONES: Los resultados deben verificarse de acuerdo a la norma especificada en el ensayo

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.2 Informe de resultados ensayo de abrasión

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	TESIS	REALIZADO POR:	Antonio Páez G.
LOCALIZACION:	Provincia de Pichincha		Alberto Valarezo
FECHA:	miércoles, 15 de abril de 2015	YACIMIENTO:	Mina Pingulmi
MUESTRA:	Agregados para Carpeta Asfáltica Tipo 3/4	LABORATORIO:	Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

ENSAYO DE ABRASION NORMA ASTM C-131

RESULTADOS:

MASA INICIAL (g):	5000,2
Retenido Tamiz No. 12 después de 500 revoluciones (g):	3765,0
PERDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES (g)	1235,2
% PERDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES :	25

LAS PÉRDIDAS PROCENTUALES DEBEN ESTAR MENOR AL 40%

OBSERVACIONES: El porcentaje de abrasión está en el rango especificado.

ELABORADO POR:

FIZCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S. A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.3 Informe de resultados ensayo desgaste a los sulfatos

		SOLIDEZ DE LOS ARIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO	Código : FO-023-08
			Versión : 00
			Fecha : 19/04/2015
Elaborado por: Coordinador Control Calidad			Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
MUESTRA: Agregados gruesos pasante 3/4" y finos pasante 3/8"
DESCRIPCION: Material para todo uso
NORMA: INEN 863
TIPO DE SOLUCION: Sulfato de magnesio

FECHA: 19-04-2015 al 24-04-2014
SOLICITADO POR: Estudiantes PUCE
FISCALIZACION: Laboratoristas Panavial S.A.
HOJA: 1 de 1

NORMA ASTM D 1411

Tamaño de las aberturas del tamiz	Gradación de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, después del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO FINO					
Menor a 150µm	20,38	-	-	-	-
de 300µm a 150µm	9,38	-	-	-	-
de 600µm a 300µm	11,59	100,0	95,3	4,7	0,5
de 1,18µm a 600µm	12,91	100,0	93,4	6,6	0,9
de 2,36µm a 1,18µm	16,78	100,0	91,8	8,2	1,4
de 4,75µm a 2,36µm	21,44	100,0	92,3	7,7	1,7
de 9,5µm a 4,75µm	7,56	100,0	75,7	24,3	1,8
Totales	100,0				6,3
ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO GRUESO					
63mm a 50mm	63mm a 37,5mm				
50mm a 37,5mm					
37,5mm a 25,0mm					
25,0mm a 19,0mm	37,5mm a 19,0mm				
19,0mm a 12,5mm					
12,5mm a 9,5mm					
9,5mm a 4,75mm	19,0mm a 9,5mm	94	1004,5 g	996,5 g	0,8
		6	300,6 g	296 g	1,5
Totales		100,0	-	-	0,8

LAS PÉRDIDAS PROCENTUALES DEBEN ESTAR MENOR AL 12%

OBSERVACIONES: El porcentaje de Desgaste a los Sulfatos está en el rango especificado

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Marcelo Vaca
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.4 Informe de resultados ensayo deletéreos

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
FECHA: miércoles, 15 de abril de 2015
MUESTRA: Agregados pasante 3/4 " retenido No.4

REALIZADO POR: Antonio Páez G.
Alberto Valarezo
YACIMIENTO: Mina Pingulmi
LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DEMENUZABLES (DELETÉREOS) ASTM C 142 Y AASHTO T112

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A- PESO INICIAL DE FRACCION	2000,0 g	2000,0 g	2000,0 g
B- PESO FINAL DE LA FRACCION	1983,7 g	1985,5 g	1981,9 g
C- PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO	100,0 %	100,0 %	100,0 %
A LA FRACCION DE LA GRANULOMETRIA			

$$P(\%) = \frac{mi - mf}{mi} \cdot 100$$

$$\text{MUESTRA 1} \quad P_n = \frac{2000,0 - 1983,7}{2000} = 0,815 \quad \%$$

$$\text{MUESTRA 2} \quad P_n = \frac{2000,0 - 1985,5}{2000} = 0,725 \quad \%$$

$$\text{MUESTRA 3} \quad P_n = \frac{2000,0 - 1981,9}{2000} = 0,905 \quad \%$$

LAS CONTENIDOS DE TRERRONES Y ARCILLAS PROCENTUALES DEBEN ESTAR MENOR AL 1%

OBSERVACIONES: El porcentaje de deletéreos está en el rango especificado.

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.5 Informe de resultado gravedad específica en agregados finos (1/4)

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
FECHA: miércoles, 15 de abril de 2015
MUESTRA: Arena triturada 1/4"

REALIZADO POR: Antonio Páez G.
Alberto Valarezo
YACIMIENTO: Mina Pingulmi
LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

GRAVEDAD ESPECIFICA EN AGREGADOS FINOS ASTM C-128

A- PESO SECO 496,9 g
B- PESO FRASCO MAS AGUA 659,4 g
C- PESO FRASCO MAS AGUA MAS MATERIA 977,6 g
D- PESO SUPERFICIE SECA SATURADA 500 g

$$\text{GRAVEDAD Gsb= BULK} = \frac{496,9}{659,4 + 500 - 977,6} = \frac{496,9}{182} = 2,733$$

$$\text{GRAVEDAD Gss= S.S.S.} = \frac{500}{659,4 + 500 - 977,6} = \frac{500}{182} = 2,750$$

$$\text{GRAVEDAD Gsa= APARENTE} = \frac{496,9}{496,9 + 659,4 - 977,6} = \frac{496,9}{179} = 2,781$$

$$\text{Abs\%} = \frac{500 - 496,9}{496,9} = \frac{3}{497} \times 100 = 0,62$$

OBSERVACIONES: Los resultados deben verificarse de acuerdo a la norma especificada en el ensayo

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.6 Informe de resultado gravedad específica en agregados finos (arena natural)

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS LOCALIZACION: Provincia de Pichincha FECHA: miércoles, 15 de abril de 2015 MUESTRA: Arena Natural	REALIZADO POR: Antonio Páez G. Alberto Valarezo YACIMIENTO: Mina Pingulmi LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)
--	---

GRAVEDAD ESPECIFICA EN AGREGADOS FINOS ASTM C-128

A- PESO SECO	487,4 g
B- PESO FRASCO MAS AGUA	657,0 g
C- PESO FRASCO MAS AGUA MAS MATERIA	957,7 g
D- PESO SUPERFICIE SECA SATURADA	500 g

$$\begin{array}{l} \text{GRAVEDAD } G_{sb} = \\ \text{BULK} \end{array} \quad \frac{487,4}{657,0 + 500 - 957,7} = \frac{487,4}{199} = 2,446$$

$$\begin{array}{l} \text{GRAVEDAD } G_{ss} = \\ \text{S.S.S.} \end{array} \quad \frac{500}{657,0 + 500 - 957,7} = \frac{500}{199} = 2,509$$

$$\begin{array}{l} \text{GRAVEDAD } G_{sa} = \\ \text{APARENTE} \end{array} \quad \frac{487,4}{487,4 + 657,0 - 957,7} = \frac{487,4}{187} = 2,611$$

$$\text{Abs\%} = \frac{500 - 487,4}{487,4} = \frac{13}{487} \times 100 = 2,59$$

OBSERVACIONES: Los resultados deben verificarse de acuerdo a la norma especificada en el ensayo

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.7 Informe de resultados ensayo desgaste a los sulfatos

SOLIDEZ DE LOS ARIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO		Código : FO-023-08 Versión : 00 Fecha : 19/04/2015
Elaborado por: Coordinador Control Calidad		Aprobado por: Gerente Técnico

OBRA: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
MUESTRA: Agregados gruesos pasante 3/4" y finos pasante 3/8"
DESCRIPCION: Material para todo uso
NORMA: INEN 863
TIPO DE SOLUCION: Sulfato de magnesio

FECHA: 19-04-2015 al 24-04-2014
SOLICITADO POR: Estudiantes PUCE
FISCALIZACION: Laboratoristas Panavial S.A.
HOJA: 1 de 1

NORMA ASTM D 1411

Tamaño de las aberturas del tamiz	Gradación de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, después del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO FINO					
Menor a 150µm	20,38	-	-	-	-
de 300µm a 150µm	9,38	-	-	-	-
de 600µm a 300µm	11,59	100,0	95,3	4,7	0,5
de 1,18µm a 600µm	12,91	100,0	93,4	6,6	0,9
de 2,36µm a 1,18µm	16,78	100,0	91,8	8,2	1,4
de 4,75µm a 2,36µm	21,44	100,0	92,3	7,7	1,7
de 9,5µm a 4,75µm	7,56	100,0	75,7	24,3	1,8
Totales	100,0				6,3
ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO GRUESO					
63mm a 50mm	63mm a 37,5mm				
50mm a 37,5mm					
37,5mm a 25,0mm					
25,0mm a 19,0mm					
19,0mm a 12,5mm	19,0mm a 9,5mm	672,3 g			
12,5mm a 9,5mm		332,2 g	1004,5 g	996,5 g	0,8
9,5mm a 4,75mm		300,6 g	300,6 g	296 g	1,5
Totales	100,0	-	-	-	0,8

LAS PÉRDIDAS PROCENTUALES DEBEN ESTAR MENOR AL 12%

OBSERVACIONES: El porcentaje de Desgaste a los Sulfatos está en el rango especificado

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Marcelo Vaca
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.8 Informe de resultados ensayo equivalente de arena

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
FECHA: miércoles, 15 de abril de 2015
MUESTRA: Agregados para Carpeta Asfáltica 3/4

REALIZADO POR: Antonio Páez G.
Alberto Valarezo
YACIMIENTO: Mina Pingulmi
LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)

MUESTRA	LECTURA DE ARCILLA	LECTURA DE ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA
No.	(Pulg)	(Pulg)	(%)
1	4,90	3,50	71,43%
2	4,50	3,30	73,33%
3	4,30	3,30	76,74%
PROMEDIO			74%

EL PORCENTAJE DE EQUIVALENTE DE ARENA DEBEN ESTAR MAYOR AL 45% PARA TRAFICO LIVIANO, Y MAYOR AL 50% PARA TRAFICO PESADO, DE ACUERDO A LA NOMRA ESPECIFICADA

OBSERVACIONES: El porcentaje de equivalente de arena cumple con las especificaciones de la norma tanto para tráfico liviano como para el tráfico pesado

ELABORADO POR:

FIZCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S. A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.9 Informe de resultados ensayo contenido orgánico

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO:	TESIS	REALIZADO POR:	Antonio Páez G.
LOCALIZACION:	Provincia de Pichincha		Alberto Valarezo
FECHA:	martes, 21 de abril de 2015	YACIMIENTO:	Mina Pingulmi
MUESTRA:	Agregados para Carpeta Asfáltica Tipo 3/4	LABORATORIO:	Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO NORMA ASSHTO T 21

RESULTADOS:

MASA INICIAL 1/4"(g):	200,0
MASA INICIAL Arena Natural (g):	200,0
Solución Normal "Hidroxido de Soldio (al 3%)" (g)	300,1
	5
	8
COLOR NORMALIZADO EN ESCALA DE GARDER	11
	14
	16

OBSERVACIONES: El color se lo verifica visualmente, pero en nuestro caso no existe materia orgánica en nuestro material, ya que no se presentó ningún color de acuerdo a la escala de Garder

ELABORADO POR:

FIZCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S. A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.10 Informe de resultados análisis granulométricos

AREA DE PAVIMENTOS

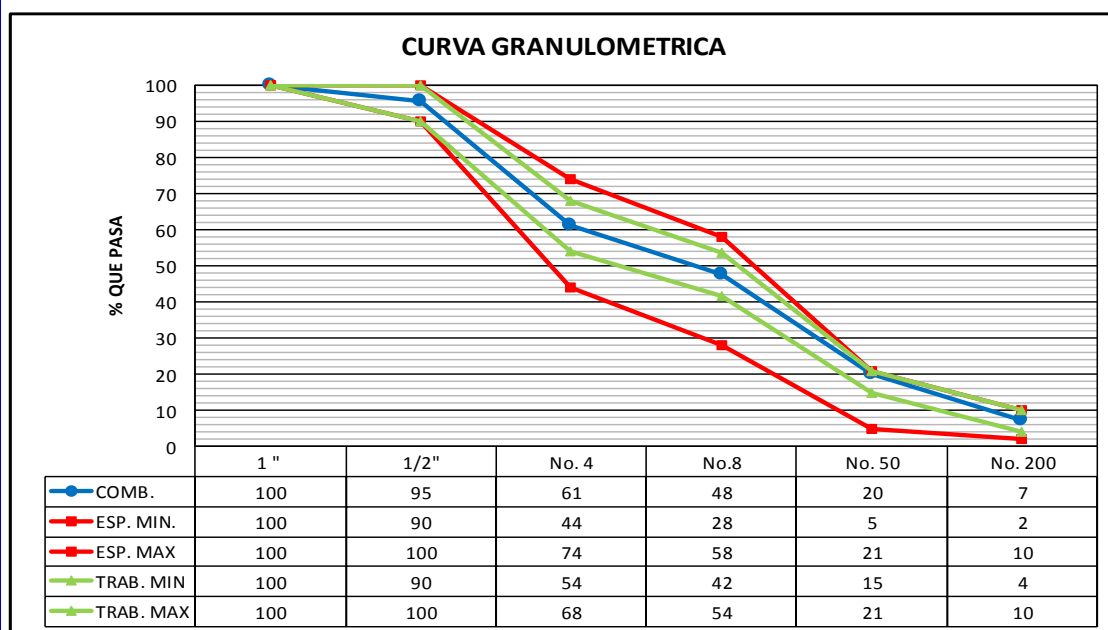
PROYECTO: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
FECHA: viernes, 10 de abril de 2015
MUESTRA: Agregados para Carpeta Asfáltica 3/4

REALIZADO POR: Antonio Páez G.
 Alberto Valarezo
YACIMIENTO: Mina Pingulmi
LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

ANALISIS GRANULOMETRICO

TAMIZ	GRANULOMETRIA INDIVIDUAL FRACCION:				PORCENTAJE DE APORTE				COMB.	ESPECIFICACION		FAJA TRABAJO		TOLERANCIAS
	1	2	3	4	0%	35%	40%	25%		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
1 "	100	100	100	100	0	35	40	25	100	100	100	100	100	8 ±
1/2"	100	87	100	100	0	30	40	25	95	90	100	90	100	8 ±
No. 4	0	4	94	89	0	1,4	38	22	61	44	74	54	68	7 ±
No.8	0	2	71	75	0	0,7	28	19	48	28	58	42	54	6 ±
No. 50	0	0	29	34	0	0,0	12	9	20	5	21	15	21	5 ±
No. 200	0	0	12	10	0	0,0	4,80	2,50	7	2	10	4	10	3 ±

Filler / Betun 1,14



ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.11 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico

PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO				Fecha: 15/04/2015
Elaborado por: Estudiantes PUCE			Aprobado por: Superintendente Panavial S.A.	

LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

LOCALIZACIÓN: Quito Carcelén

MUESTRA: Tomada de la Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

DESCRIPCIÓN: AC-20 Refinería Esmeraldas

FECHA INICIO TRASLADO: martes, 14 de abril de 2015

FECHA FINAL TRASLADO: miércoles, 15 de abril de 2015

PLACA DE TANQUERO:

N° DE TANQUE DE REFINERÍA:

FECHA INICIO ENSAYO: miércoles, 15 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: viernes, 17 de abril de 2015

SOLICITADO POR: Estudiantes PUCE

FISCALIZACIÓN: Laboratoristas Panavial S.A.

HOJA: 1 de 2

ENSAYO DE PENETRACIÓN (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	69
2	68
3	68
PROMEDIO	68

ENSAYO DE DUCTILIDAD (INEN 916)	
PRUEBA No.	DUCTILIDAD (cm)
1	150
2	150
3	150
PROMEDIO	150

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN (AASHTO T 79)	
ENSAYO	PUNTO DE INFLAMACIÓN (° C)
1	260
ENSAYO	PUNTO DE COMBUSTIÓN (° C)
1	284

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON ANILLO Y BOLA (AASHTO T53)	
ANILLO	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)
1	47,0
2	47,0
PROMEDIO	47,0

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (AASHTO T228)		
A: Masa del Picnómetro (g)	38,488	FÓRMULA: $\rho_b = \frac{C - A}{((B - A) - (D - C))}$
B: Masa del Picnómetro + H ₂ O (g)	63,650	
C: Masa del Picnómetro + Asfalto (g)	57,465	
D: Masa del Picnómetro + Asfalto + H ₂ O (g)	63,809	
pw: Densidad del agua (g/cm³)	0,997	
pb: Densidad del asfalto (g/cm³)	1,008	

PÉRDIDA DE MASA MEDIANTE EL RTOF (AASHTO T240)		
Masa del Picnómetro	167,545	170,188
Masa antes del ensayo	202,743	205,210
Masa después del ensayo	202,685	205,147
Peso perdido	0,058	0,063
% de pérdida	0,16	0,18
PROMEDIO	0,17	

ENSAYO DE PENETRACIÓN AL RESIDUO (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	40
2	40
3	42
PROMEDIO	41

ENSAYO DE DUCTILIDAD AL RESIDUO (INEN 916)	
PRUEBA No.	DUCTILIDAD (cm)
1	48
2	62
3	56
PROMEDIO	55

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN ASTM D 3381/D3381M - 13							
Parámetro	Resultado	Requerimiento AC-20		Aceptación	ENSAYOS AL RESIDUO DE PELÍCULA FINA RTOF		
		Mín.	Máx.		Resultado	REQUERIMIENTO AC-20	Aceptación
Punto de Inflamación	260	232	-	OK	376	Mín	Máx
Viscosidad a 135°C (Centistokes)	334	300	-	OK	41	-	-
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg. (1/10mm)	68	-	-	INFORME	-	-	INFORME
Índice de Penetración	-1,258	-1,5	1	OK	-	-	-
Viscosidad a 60°C (Poises)	1990	1600	2400	OK	7293	-	8000
Ductilidad, 25 ° C, 5 cm por minuto (cm)	150	-	-	INFORME	55	50	-
Pérdida de Masa %	-	-	-	-	0,17	-	1

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.12 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield

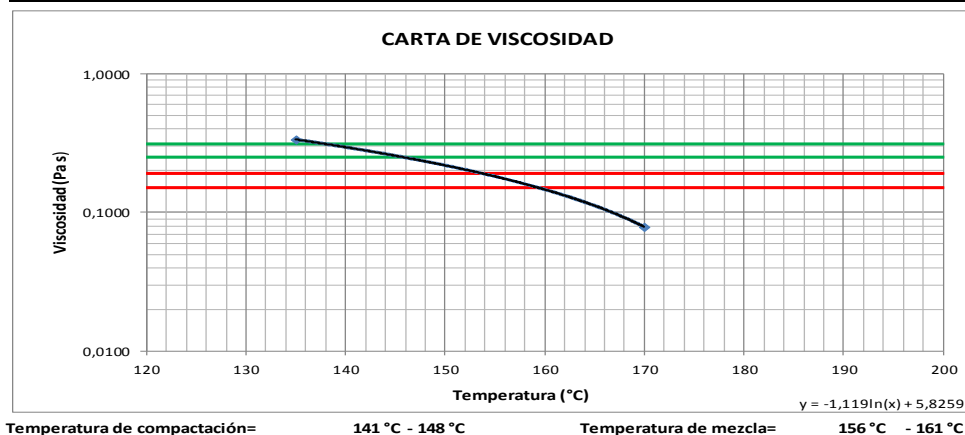
PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO (VISCOSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD)			Fecha: 15/04/2015
Elaborado por:	Estudiantes PUCE		Aprobado por: Superintendente Panavial S.A.

FECHA INICIO ENSAYO: miércoles, 15 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: viernes, 17 de abril de 2015

ENSAYOS DE VISCOSIDAD						
VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	39,7	SC4-29	199,000	1990,00
2	60	2	39,7	SC4-29	199,000	1990,00
3	60	2	39,8	SC4-29	199,000	1990,00
PROMEDIO						1990
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	67,5	SC4-21	337,5	0,338
2	135	100	67,4	SC4-21	337,0	0,337
3	135	100	67,1	SC4-21	335,5	0,336
PROMEDIO						0,337
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	170	200	31,4	SC4-21	78,5	0,079
2	170	200	31,5	SC4-21	78,8	0,079
3	170	200	31,5	SC4-21	78,8	0,079
PROMEDIO						0,079

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ENVEJECIDO (RESIDUO)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	1,0	72,8	SC4-29	728,000	7280,00
2	60	1,0	72,8	SC4-29	728,000	7280,00
3	60	1,0	73,2	SC4-29	732,000	7320,00
PROMEDIO						7293
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	70	79,5	SC4-21	567,9	0,568
2	135	70	79,9	SC4-21	570,7	0,571
3	135	70	79,8	SC-21		0,000
PROMEDIO					379,5	0,380



ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.13 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 1%

PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO				Fecha: 15/02/2013
Elaborado por:	Estudiantes PUCE		Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)
LOCALIZACIÓN: Quito Carcelén
MUESTRA: Tomada de la Planta de Emulsión (Panavial S.A.)
DESCRIPCIÓN: AC-20 Refinería Esmeraldas + Caucho al 1%

FECHA INICIO TRASLADO: _____
FECHA FINAL TRASLADO: _____
PLACA DE TANQUERO: _____
N° DE TANQUE DE REFINERÍA: _____

FECHA INICIO ENSAYO: Lunes, 13 de abril de 2015
FECHA FINAL ENSAYO: miércoles, 15 de abril de 2015
SOLICITADO POR: Estudiantes PUCE
FISCALIZACIÓN: Laboratoristas Panavial S.A.
HOJA: 1 de 2

ENSAYO DE PENETRACIÓN (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	64
2	65
3	65
PROMEDIO	65

ENSAYO DE DUCTILIDAD (INEN 916)	
PRUEBA No.	(cm)
1	21
2	21
3	
PROMEDIO	21

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN (AASHTO T 79)	
ENSAYO	PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)
1	252
ENSAYO	PUNTO DE COMBUSTIÓN (°C)
1	282

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON ANILLO Y BOLA (AASHTO T53)	
ANILLO	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)
1	49
2	49
PROMEDIO	49

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (AASHTO T228)		
A: Masa del Picnómetro (g)	38,488	$\rho_b = \frac{C - A}{((B - A) - (D - C))}$
B: Masa del Picnómetro + H ₂ O (g)	63,650	
C: Masa del Picnómetro + Asfalto (g)	57,965	
D: Masa del Picnómetro + Asfalto + H ₂ O (g)	63,860	
pw: Densidad del agua (g/cm³)	0,997	
pb: Densidad del asfalto (g/cm³)	1,011	

PÉRDIDA DE MASA MEDIANTE EL RTOF (AASHTO T240)		
Masa del Picnómetro	167,545	170,188
Masa antes del ensayo	202,488	205,175
Masa después del ensayo	202,424	205,113
Peso perdido	0,064	0,062
% de pérdida	0,18	0,18
PROMEDIO	0,18	

ENSAYO DE PENETRACIÓN AL RESIDUO (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	41
2	40
3	41
PROMEDIO	41

ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA	
PRUEBA No.	(cm)
1	4,5
2	5
PROMEDIO	5
FORMULA	Re=100*[(x)/20]
RESULTADO	24

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN ASTM D 6114-97								
Parámetro	Resultado	Requerimiento AC-20		Aceptación	ENSAYOS AL RESIDUO DE PELÍCULA FINA RTOF			
		Min.	Máx.		Resultado	Min	Máx	Aceptación
Punto de Inflamación	252	232	-	OK	-	-	-	INFORME
Viscosidad a 175°C (Centistokes)	79	1500	5000	NO	-	-	-	INFORME
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg. (1/10mm)	65	50	100	OK	41	75	-	NO
Índice de Penetración	-0,850	-1,5	1	OK	-	-	-	-
Viscosidad a 60°C (Poises)	-	-	-	-	-	-	8000	INFORME
Punto de Ablandamiento °C (°F)	49	51,7	-	NO	-	50	-	INFORME
Pérdida de Masa %	-	-	-	-	0,18	-	-	OK

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.14 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 1%

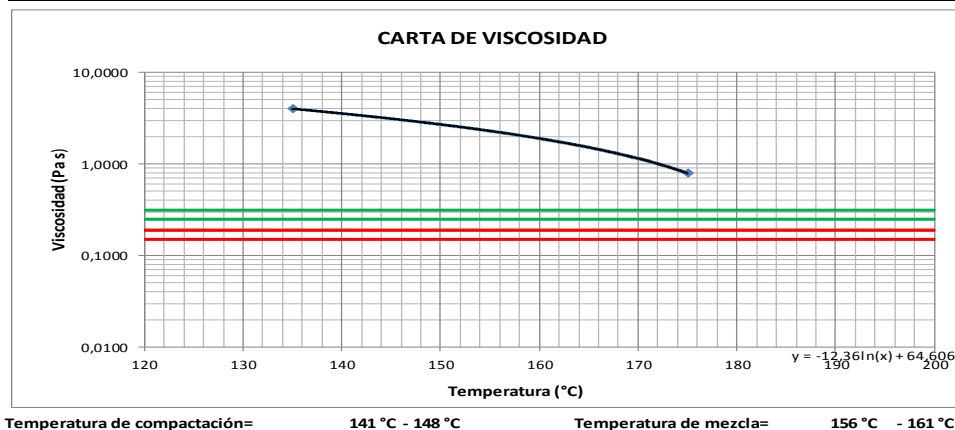
PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO (VISCOSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD)			Fecha: 15/02/2013
Elaborado por:	Estudiantes PUCE	Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

FECHA INICIO ENSAYO: Lunes, 13 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: miércoles, 15 de abril de 2015

ENSAYOS DE VISCOSIDAD						
VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	52,5	SC4-29	263.000	2630,00
2	60	2	52,6	SC4-29	263.000	2630,00
3	60	2	52,8	SC4-29	264.000	2640,00
PROMEDIO					263333	2633
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	79,8	SC4-21	399,0	3,990
2	135	100	79,9	SC4-21	399,5	3,995
3	135	100	79,9	SC4-21	399,5	3,995
PROMEDIO					399,3	3,993
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	175	200	31,6	SC4-21	79,0	0,790
2	175	200	31,4	SC4-21	78,5	0,785
3	175	200	31,4	SC4-21	78,5	0,785
PROMEDIO					78,7	0,787

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ENVEJECIDO (RESIDUO)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	1,0		SC4-29		
2	60	1,0		SC4-29		
3	60	1,0		SC4-29		
PROMEDIO						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	70		SC4-21		
2	135	70		SC4-21		
3	135	70		SC4-21		
PROMEDIO					0,0	



ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.15 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 1.5%

PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO				Fecha: 14/04/2015
Elaborado por:	Estudiantes PUCE		Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

ABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

LOCALIZACIÓN: Quito Carcelén

MUESTRA: Tomada de la Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

DESCRIPCIÓN: AC-20 Refinería Esmeraldas +Caucho al 1,5%

FECHA INICIO TRASLADO:

FECHA FINAL TRASLADO:

PLACA DE TANQUERO: GUIA-

N° DE TANQUE DE REFINERÍA:

FECHA INICIO ENSAYO: martes, 14 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: jueves, 16 de abril de 2015

SOLICITADO POR: Estudiantes PUCE

FISCALIZACIÓN: Laboratorios Panavial S.A.

HOJA: 1 de 2

ENSAYO DE PENETRACIÓN (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	63
2	62
3	62
PROMEDIO	62

ENSAYO DE DUCTILIDAD (INEN 916)	
PRUEBA No.	(cm)
1	18
2	18
3	
PROMEDIO	18

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN (AASHTO T 79)	
ENSAYO	PUNTO DE INFLAMACIÓN (° C)
1	274
ENSAYO	PUNTO DE COMBUSTIÓN (° C)
1	306

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON ANILLO Y BOLA (AASHTO T53)	
ANILLO	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)
1	49,0
2	49,0
PROMEDIO	49,0

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (AASHTO T228)	
A: Masa del Picnómetro (g)	38,488
B: Masa del Picnómetro + H ₂ O (g)	63,650
C: Masa del Picnómetro + Asfalto (g)	57,339
D: Masa del Picnómetro + Asfalto + H ₂ O (g)	63,754
pw: Densidad del agua (g/cm³)	0,997
pb: Densidad del asfalto (g/cm³)	1,006

$$FÓRMULA: \rho_b = \frac{C - A}{((B - A) - (D - C))}$$

PÉRDIDA DE MASA MEDIANTE EL RTOF (AASHTO T240)		
Masa del Picnómetro	169,527	166,681
Masa antes del ensayo	204,476	201,653
Masa después del ensayo	204,435	201,614
Peso perdido	0,041	0,039
% de pérdida	0,12	0,11
PROMEDIO	0,11	

ENSAYO DE PENETRACIÓN AL RESIDUO (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	41
2	39
3	40
PROMEDIO	40

ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA	
PRUEBA No.	(cm)
1	4,9
2	4,8
PROMEDIO	5
FÓRMULA	Re=100*[(x)/20]
RESULTADO	24

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN ASTM D 6114-97							
Parámetro	Resultado	Requerimiento AC-20		Aceptación	ENSAYOS AL RESIDUO DE PELÍCULA FINA RTOF		
		Mín.	Máx.		Resultado	REQUERIMIENTO AC-20	Aceptación
Punto de Inflamación	274	232	-	OK	-	Mín	Máx
Viscosidad a 175°C (Centistokes)	79	1500	5000	NO	-	-	INFORME
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg. (1/10mm)	62	50	100	OK	40	75	NO
Índice de Penetración	-0,942	-1,5	1	OK	-	-	-
Viscosidad a 60°C (Poises)	-	-	-	-	-	-	8000
Punto de Ablandamiento °C (°F)	49	51,7	-	NO	-	50	INFORME
Pérdida de Masa %	-	-	-	-	0,11	-	1

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.16 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 1.5%

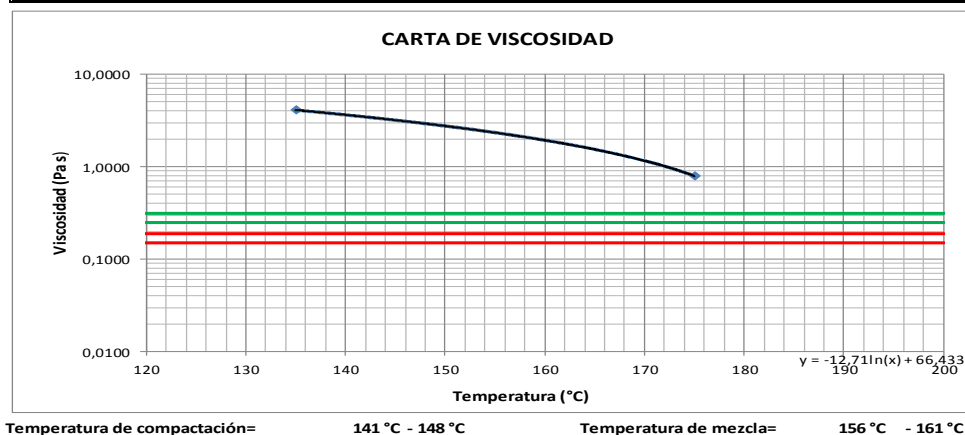
PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO (VISCOSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD)			Fecha: 14/42/2015
Elaborado por: Estudiantes PUCE		Aprobado por: Superintendente Panavial S.A.	

FECHA INICIO ENSAYO: martes, 14 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: jueves, 16 de abril de 2015

ENSAYOS DE VISCOSIDAD						
VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	51,2	SC4-29	256.000	2560,00
2	60	2	51,3	SC4-29	257.000	2570,00
3	60	2	51,2	SC4-29	256.000	2560,00
PROMEDIO					256333	2563
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	82,7	SC4-21	413,5	4,135
2	135	100	81,7	SC4-21	408,5	4,085
3	135	100	80,9	SC4-21	404,5	4,045
PROMEDIO					408,8	4,088
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	175	200	32,1	SC4-21	80,2	0,802
2	175	200	31,5	SC4-21	78,8	0,788
3	175	200	31,2	SC4-21	78,0	0,780
PROMEDIO					79,0	0,790

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ENVEJECIDO (RESIDUO)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	1,0		SC4-29		
2	60	1,0		SC4-29		
3	60	1,0		SC4-29		
PROMEDIO						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	70		SC4-21		
2	135	70		SC4-21		
3	135	70		SC-21		
PROMEDIO					0,0	



ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.17 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 2%

PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO				Fecha : 13/04/2015
Elaborado por:	Estudiantes PUCE		Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

LOCALIZACIÓN: Quito Carcelén

MUESTRA: Tomada de la Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

DESCRIPCIÓN: AC-20 Refinería Esmeraldas + Caucho al 2%

FECHA INICIO TRASLADO:

FECHA FINAL TRASLADO:

PLACA DE TANQUERO: GUIA-

N° DE TANQUE DE REFINERÍA:

FECHA INICIO ENSAYO: Lunes, 13 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: miércoles, 15 de abril de 2015

SOLICITADO POR: Estudiantes PUCE

FISCALIZACIÓN: Laboratoristas Panavial S.A.

HOJA: 1 de 2

ENSAYO DE PENETRACIÓN (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	71
2	73
3	70
PROMEDIO	71

ENSAYO DE DUCTILIDAD (INEN 916)	
PRUEBA No.	(cm)
1	14
2	14
3	
PROMEDIO	14

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN (AASHTO T 79)	
ENSAYO	PUNTO DE INFLAMACIÓN (° C)
1	266
ENSAYO	PUNTO DE COMBUSTIÓN (° C)
1	304

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON ANILLO Y BOLA (AASHTO T53)	
ANILLO	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)
1	51,0
2	51,0
PROMEDIO	51,0

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (AASHTO T228)		
A: Masa del Picnómetro (g)	38,488	$\rho_b = \frac{C - A}{((B - A) - (D - C))}$
B: Masa del Picnómetro + H ₂ O (g)	63,650	
C: Masa del Picnómetro + Asfalto (g)	55,220	
D: Masa del Picnómetro + Asfalto + H ₂ O (g)	62,776	
pw: Densidad del agua (g/cm³)	0,997	
pb: Densidad del asfalto (g/cm³)	0,950	

PÉRDIDA DE MASA MEDIANTE EL RTOF (AASHTO T240)		
Masa del Picnómetro	167,545	170,188
Masa antes del ensayo	202,399	205,059
Masa después del ensayo	202,334	204,997
Peso perdido	0,065	0,062
% de pérdida	0,19	0,18
PROMEDIO	0,18	

ENSAYO DE PENETRACIÓN AL RESIDUO (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	40
2	41
3	40
PROMEDIO	40

ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA	
PRUEBA No.	(cm)
1	4
2	4,1
PROMEDIO	4
FORMULA	Re=100*[(x)/20]
RESULTADO	20

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN ASTM D 6114-97							
Parámetro	Resultado	Requerimiento AC-20		Aceptación	ENSAYOS AL RESIDUO DE PELÍCULA FINA RTOF		
		Mín.	Máx.		Resultado	REQUERIMIENTO AC-20	Aceptación
Punto de Inflamación	266	232	-	OK	-	Mín	Máx
Viscosidad a 175°C (Centistokes)	89	1500	5000	NO	-	-	INFORME
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg. (1/10mm)	71	50	100	OK	40	75	NO
Índice de Penetración	-0,068	-1,5	1	OK	-	-	-
Viscosidad a 60°C (Poisés)	-	-	-	-	-	-	8000
Punto de Ablandamiento °C (°F)	51	51,7	-	NO	-	50	INFORME
Pérdida de Masa %	-	-	-	-	0,18	-	OK

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.18 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 2%

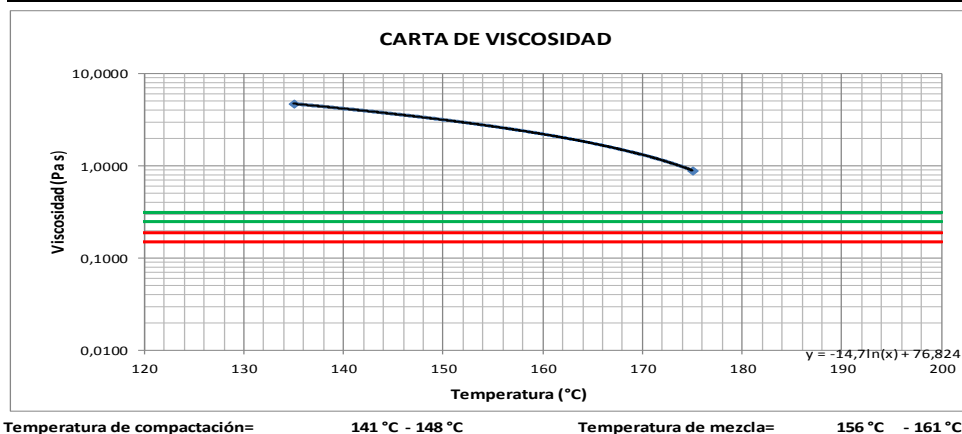
PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO (VISCOSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD)			Fecha : 13/04/2015
Elaborado por:	Estudiantes PUCE	Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

FECHA INICIO ENSAYO: lunes , 13 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: miércoles, 15 de abril de 2015

ENSAYOS DE VISCOSIDAD						
VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2		SC4-29		
2	60	2		SC4-29		
3	60	2		SC4-29		
PROMEDIO						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	94,9	SC4-21	474,5	4,745
2	135	100	94,0	SC4-21	470,0	4,700
3	135	100	93,5	SC4-21	467,5	4,675
PROMEDIO					470,7	4,707
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	175	200	36,1	SC4-21	90,2	0,902
2	175	200	35,6	SC4-21	89,0	0,890
3	175	200	35,3	SC4-21	88,2	0,882
PROMEDIO					89,1	0,891

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ENVEJECIDO (RESIDUO)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	1,0		SC4-29		
2	60	1,0		SC4-29		
3	60	1,0		SC4-29		
PROMEDIO						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	70		SC4-21		
2	135	70		SC4-21		
3	135	70		SC-21		
PROMEDIO					0,0	



ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.19 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 3%

PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO				Fecha: 09/02/2013
Elaborado por:	Estudiantes PUCE		Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

LOCALIZACIÓN: Quito Carcelén

MUESTRA: Tomada de la Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

DESCRIPCIÓN: AC-20 Refinería Esmeraldas +Caucho al 3%

FECHA INICIO TRASLADO:

FECHA FINAL TRASLADO:

PLACA DE TANQUERO: GUIA-

N° DE TANQUE DE REFINERÍA:

FECHA INICIO ENSAYO: jueves, 09 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: sábado, 11 de abril de 2015

SOLICITADO POR: Estudiantes PUCE

FISCALIZACIÓN: Laboratoristas Panavial S.A.

HOJA: 1 de 2

ENSAYO DE PENETRACIÓN (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	66
2	61
3	62
PROMEDIO	63

ENSAYO DE DUCTILIDAD (INEN 916)	
PRUEBA No.	(cm)
1	17
2	19
3	17
PROMEDIO	18

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN (AASHTO T 79)	
ENSAYO	PUNTO DE INFLAMACIÓN (° C)
1	272
ENSAYO	PUNTO DE COMBUSTIÓN (° C)
1	310

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON ANILLO Y BOLA (AASHTO T53)	
ANILLO	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)
1	48
2	49
PROMEDIO	49

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (AASHTO T228)		
A: Masa del Picnómetro (g)	38,488	$\rho_b = \frac{C - A}{((B - A) - (D - C))}$
B: Masa del Picnómetro + H ₂ O (g)	63,650	
C: Masa del Picnómetro + Asfalto (g)	56,824	
D: Masa del Picnómetro + Asfalto + H ₂ O (g)	63,826	
pw: Densidad del agua (g/cm³)	0,997	
pb: Densidad del asfalto (g/cm³)	1,010	

PÉRDIDA DE MASA MEDIANTE EL RTOF (AASHTO T240)		
Masa del Picnómetro		
Masa antes del ensayo		
Masa después del ensayo		
Peso perdido		
% de pérdida		
PROMEDIO		

ENSAYO DE PENETRACIÓN AL RESIDUO (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	
2	
3	
PROMEDIO	

ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA	
PRUEBA No.	(cm)
1	
2	
PROMEDIO	
FORMULA	Re=100*[(x)/20]
RESULTADO	0

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN ASTM D 6114-97							
Parámetro	Resultado	Requerimiento AC-20		Aceptación	ENSAYOS AL RESIDUO DE PELÍCULA FINA RTOF		
		Mín.	Máx.		Resultado	REQUERIMIENTO AC-20	Aceptación
Punto de Inflamación	272	232	-	OK	-	Mín	Máx
Viscosidad a 175°C (Centistokes)	86	1500	5000	NO	-	-	INFORME
Penetración a 25°C,100g,5 seg. (1/10mm)	63	50	100	OK	-	75	INFORME
Índice de Penetración	-1,048	-1,5	1	OK	-	-	-
Viscosidad a 60°C (Poises)	-	-	-	-	-	8000	INFORME
Punto de Ablandamiento °C (°F)	49	51,7	-	NO	-	50	INFORME
Pérdida de Masa %	-	-	-	-	-	-	INFORME

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.20 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 3%

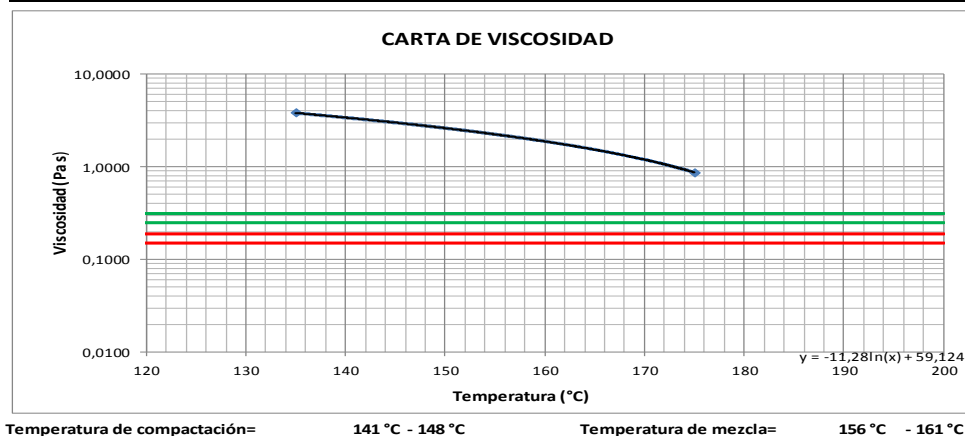
PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO (VISCOSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD)			Fecha : 09/04/2013
Elaborado por:	Estudiantes PUCE	Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

FECHA INICIO ENSAYO: jueves, 09 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: sábado, 11 de abril de 2015

ENSAYOS DE VISCOSIDAD						
VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	68,7	SC4-29	343.000	3430,00
2	60	2	68,8	SC4-29	344.000	3440,00
3	60	2	68,8	SC4-29	344.000	3440,00
PROMEDIO					343667	3437
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	76,8	SC4-21	384,0	3,84
2	135	100	75,6	SC4-21	378,0	3,78
3	135	100	75,1	SC4-21	375,5	3,76
PROMEDIO					379,2	3,79
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	175	200	34,9	SC4-21	87,3	0,87
2	175	200	34,4	SC4-21	86,0	0,86
3	175	200	34,4	SC4-21	86,0	0,86
PROMEDIO					86,4	0,86

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ENVEJECIDO (RESIDUO)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	1,0		SC4-29		
2	60	1,0		SC4-29		
3	60	1,0		SC4-29		
PROMEDIO						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	70		SC4-21		
2	135	70		SC4-21		
3	135	70		SC-21		
PROMEDIO					0,0	



ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.21 Informe de resultados propiedades del cemento asfáltico modificado 7%

PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO				Fecha : 10/04/2015
Elaborado por:	Estudiantes PUCE		Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)
 LOCALIZACIÓN: Quito Carcelén
 MUESTRA: Tomada de la Planta de Emulsión (Panavial S.A.)
 DESCRIPCIÓN: AC-20 Refinería Esmeraldas +Caucho al 7%

FECHA INICIO TRASLADO: _____
 FECHA FINAL TRASLADO: _____
 PLACA DE TANQUERO: GUIA-
 N° DE TANQUE DE REFINERÍA: _____

FECHA INICIO ENSAYO: viernes, 10 de abril de 2015
 FECHA FINAL ENSAYO: domingo, 12 de abril de 2015
 SOLICITADO POR: Estudiantes PUCE
 FISCALIZACIÓN: Laboratoristas Panavial S.A.
 HOJA: 1 de 2

ENSAYO DE PENETRACIÓN (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	54
2	54
3	53
PROMEDIO	54

ENSAYO DE DUCTILIDAD (INEN 916)	
PRUEBA No.	(cm)
1	11
2	11
3	
PROMEDIO	11

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN (AASHTO T 79)	
ENSAYO	PUNTO DE INFLAMACIÓN (° C)
1	254
ENSAYO	PUNTO DE COMBUSTIÓN (° C)
1	284

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON ANILLO Y BOLA (AASHTO T53)	
ANILLO	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (° C)
1	53
2	53
PROMEDIO	53

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (AASHTO T228)		
A: Masa del Picnómetro (g)	38,488	$\rho_b = \frac{C - A}{((B - A) - (D - C))}$
B: Masa del Picnómetro + H ₂ O (g)	63,650	
C: Masa del Picnómetro + Asfalto (g)	56,729	
D: Masa del Picnómetro + Asfalto + H ₂ O (g)	63,418	
pw: Densidad del agua (g/cm³)	0,997	
pb: Densidad del asfalto (g/cm³)	0,987	

PÉRDIDA DE MASA MEDIANTE EL RTOF (AASHTO T240)		
Masa del Picnómetro	167,545	170,188
Masa antes del ensayo	202,399	205,059
Masa después del ensayo	202,288	205,083
Peso perdido	0,111	-0,024
% de pérdida	0,32	-0,07
PROMEDIO	0,12	

ENSAYO DE PENETRACIÓN AL RESIDUO (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	33
2	32
3	33
PROMEDIO	33

ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA	
PRUEBA No.	(cm)
1	3,6
2	3
PROMEDIO	3
FORMULA	Re=100*[(x)/20]
RESULTADO	17

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN ASTM D 6114-97							
Parámetro	Resultado	Requerimiento AC-20		Aceptación	ENSAYOS AL RESIDUO DE PELÍCULA FINA RTOF		
		Mín.	Máx.		Resultado	REQUERIMIENTO AC-20 Mín Máx	Aceptación
Punto de Inflamación	254	232	-	OK	-	-	INFORME
Viscosidad a 175°C (Centistokes)	130	1500	5000	NO	-	-	INFORME
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg. (1/10mm)	54	50	100	OK	33	75	NO
Índice de Penetración	-0,314	-1,5	1	OK	-	-	-
Viscosidad a 60°C (Poisés)	-	-	-	-	-	8000	INFORME
Punto de Ablandamiento °C (°F)	53	51,7	-	OK	3	50	INFORME
Pérdida de Masa %	-	-	-	-	0,12	-	OK

ELABORADO POR:

Antonio Paez
PUCE

FISCALIZADO POR:

Campy Reascos
LABORATORISTA

APROBADO POR

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.22 Informe de resultados viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield asfalto modificado 7%

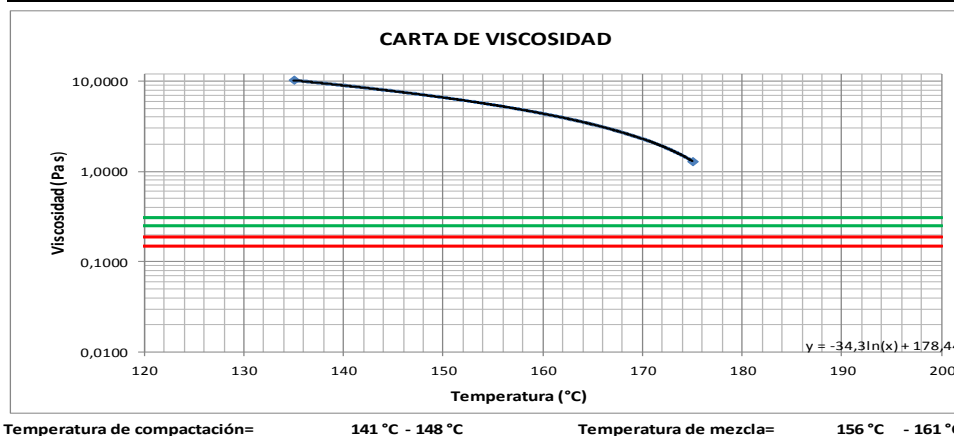
PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO (VISCOSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD)			Fecha: 10/04/2015
Elaborado por:	Estudiantes PUCE	Aprobado por:	Superintendente Panavial S.A.

FECHA INICIO ENSAYO: viernes, 10 de abril de 2015

FECHA FINAL ENSAYO: domingo, 12 de abril de 2015

ENSAYOS DE VISCOSIDAD						
VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2		SC4-29		
2	60	2		SC4-29		
3	60	2		SC4-29		
PROMEDIO						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	11,9	SC4-21	1190,0	11,900
2	135	100	9,4	SC4-21	940,0	9,400
3	135	100	9,3	SC4-21	930,0	9,300
PROMEDIO					1020,0	10,200
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	175	200	52,6	SC4-21	131,5	1,315
2	175	200	51,6	SC4-21	129,0	1,290
3	175	200	51,7	SC4-21	129,3	1,293
PROMEDIO					129,9	1,299

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ENVEJECIDO (RESIDUO)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	1,0		SC4-29		
2	60	1,0		SC4-29		
3	60	1,0		SC4-29		
PROMEDIO						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	70		SC4-21		
2	135	70		SC4-21		
3	135	70		SC-21		
PROMEDIO					0,0	



ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

Antonio Paez
PUCE

Alberto Valarezo
PUCE

Campy Reascos
LABORATORISTA

Ing. Rafael Lastra
SUPERINTENDENTE PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.23 Informe de resultados diseño de la mezcla curva granulométrica

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS

MINA: PINGULMI

CARPETA ASFALTICA TIPO "C"

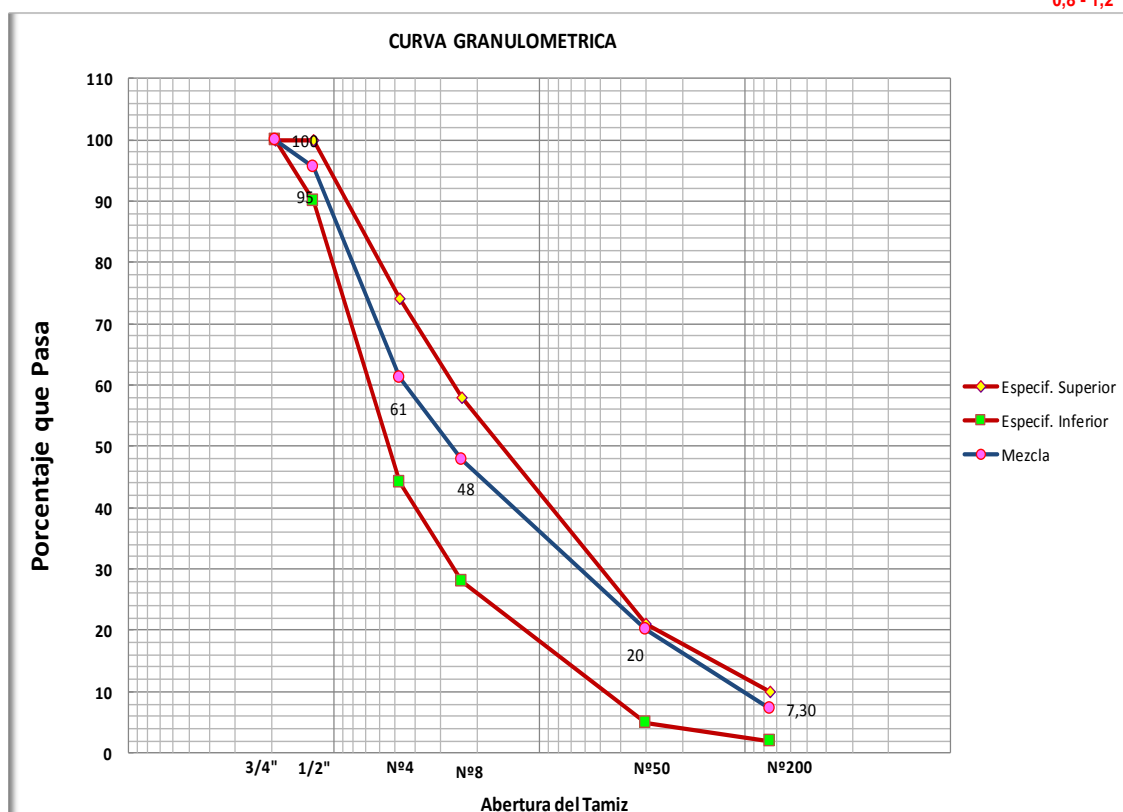
miércoles 8 de abril de 2015

GRANULOMETRIAS INDIVIDUALES									
MATERIALES	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº50	Nº 200
PASANTE 3/4" RETENIDO EN 3/8"	100	100	100	87	45	4	2	0	0
TRITURADO PASANTE 1/4" TERCIARIA	100	100	100	100	100	94	71	29	12
ARENA NATURAL	100	100	100	100	100	89	75	34	10

COMBINACION										
MATERIALES	%	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº50	Nº 200
0	0			0	0	0	0	0	0	0
PASANTE 3/4" RETENIDO EN 3/8"	35			35	30	16	1	1	0	0
TRITURADO PASANTE 1/4" TERCIARIA	40			40	40	40	38	28	12	4,80
ARENA NATURAL	25			25	25	25	22	19	9	2,50
MEZCLA	100			100,0	95	81	61	48	20	7
Especificación Maxima	100			100	100	80	74	58	21	10
Especificación Mínima	100			100	90	56	44	28	5	2

FILLER / BETUN 1,16

0,8 - 1,2



Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.24 Informe de resultados diseño de la mezcla briquetas y rice

AREA DE PAVIMENTOS PROYECTO: TESIS MINA: PINGULMI CARPETA ASFALTICA TIPO "C"

miércoles 8 de abril de 2015

TAMICES					1 "	3/4"	1/2"	Nº4	Nº8	Nº50	N' 200	
					25,4	19	12,5	4,75	2,36	0,30	0,075	
ESPECIFICACION MÁXIMA						100	100	74	58	21	10	
ESPECIFICACION MINIMA						100	90	44	28	5	2	
MEZCLA						100	95	61	48	20	7,30	
FAJA MÁXIMA						100	100	68	54	21	10	
FAJA MINIMA						100	90	54	42	15	4	
TOLERANCIA						8	8	7	6	5	3	
1200 PESO TOTAL MARTERIAL + ASFALTO												
5,0	5,5	6,0	6,50	5,7	% DE ASFALTO						MEZCLA COMPROBACION BRIQUETAS	
60,0	66,0	72,0	78,00	68,4	PESO DE ASFALTO							
1140,00	1134,0	1128,0	1122,0	1131,6	PESO DE AGREGADO							
1200	1200	1200	1200	1200	MEZCLA TOTAL BRIQUETAS							
BRIQUETAS	%ASFALTO		5,0		5,5		6,0		6,50		5,7	
	PESO ASFALTO		60,0		66,0		72,0		78,00		68,4	
	PESO AGREGADOS		1140,0		1134,0		1128,0		1122,0		1131,6	
TAMIZ			1		2		3		4		5	
3/4"	100,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1/2"	95	5	51,9	51,9	51,6	51,6	51,3	51,3	51,1	51,1	51,5	51,5
3/8"	81	15	167,6	219,5	166,7	218,3	165,8	217,1	164,9	216,0	166,3	217,8
Nº4	61	20	222,3	441,8	221,1	439,4	220,0	437,1	218,8	434,8	220,7	438,5
Nº8	48	13	152,8	594,5	152,0	591,4	151,2	588,3	150,3	585,1	151,6	590,1
Nº50	20	28	316,4	910,9	314,7	906,1	313,0	901,3	311,4	896,5	314,0	904,1
pasa Nº50	20	20	229,1	1140,0	227,9	1134,0	226,7	1128,0	225,5	1122,0	227,5	1131,6
		100,0	1140,0		1134,0		1128,0		1122,0		1131,6	
1500,0 PESO TOTAL MARTERIAL + ASFALTO												
5,0	5,5	6,0	6,5	5,7	% DE ASFALTO						MEZCLA COMPROBACION RICE	
75,0	82,5	90,0	97,5	85,5	PESO DE ASFALTO							
1425,0	1417,5	1410,0	1402,5	1414,5	PESO DE AGREGADO							
1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	MEZCLA TOTAL RICE							
RICE	%ASFALTO		5,0		5,5		6,0		6,5		5,7	
	PESO ASFALTO		75,0		82,5		90,0		97,5		85,5	
	PESO AGREGADOS		1425,0		1417,5		1410,0		1402,5		1414,5	
TAMIZ			1,0		2,0		3,0		4,0		5,0	
3/4"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1/2"	95	5	64,8	64,8	64,5	64,5	64,2	64,2	63,8	63,8	64,4	64,4
3/8"	81	15	209,5	274,3	208,4	272,9	207,3	271,4	206,2	270,0	207,9	272,3
Nº4	61	20	277,9	552,2	276,4	549,3	275,0	546,4	273,5	543,5	275,8	548,1
Nº8	48	13	191,0	743,1	189,9	739,2	188,9	735,3	187,9	731,4	189,5	737,7
Nº50	20	28	395,4	1138,6	393,4	1132,6	391,3	1126,6	389,2	1120,6	392,5	1130,2
Pasa Nº50	20	20	286,4	1425,0	284,9	1417,5	283,4	1410,0	281,9	1402,5	284,3	1414,5
		100,0	1425,0		1417,5		1410,0		1402,5		1414,5	

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.25 Informe de resultados gravedades específicas de la mezcla

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS

LOCALIZACION: Provincia de Pichincha

FECHA: miércoles, 15 de abril de 2015

MUESTRA: Mezcla para Carpeta Asfáltica 3/4"

ELABORADO POR: Antonio Páez G.

Alberto Valarezo

YACIMIENTO: Mina Pingulmi

LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

GRAVEDADES ESPECIFICA DE LA MEZCLA

% CEMENTO ASFALTICO	5,00	5,50	6,00	6,50	5,70
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK MEZCLA AGREGADOS (Gsb)	2,578	2,578	2,578	2,578	2,578
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO (Gb.)	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015
DATOS ENSAYO RICE:					
PESO MUESTRA EN EL AIRE (Gr)	1485	1495,3	1492,1	1495,7	1496,6
PESO FRASCO + AGUA) (Gr)	7979	7979	7979	7979	7979
PESO FRASCO + AGUA + MUESTRA (Gr)	8866,8	8868	8860,9	8858,2	8866,5
VOLUMEN C.C	597	606	610	617	609
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA DE LA MEZCLA (Gmm)	2,487	2,466	2,445	2,426	2,457
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DE LOS AGREGADOS (Gse)	2,692	2,690	2,687	2,686	2,688
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE DE LOS AGREGADOS (Gsa)	2,685	2,685	2,685	2,685	2,685
COMPROBACION:					
Gsa > Gse > Gsb	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO (Pba)	1,67	1,65	1,60	1,58	1,62
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO EN MEZCLA (Pbe)	3,41	3,94	4,49	5,02	4,18

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTA
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.26 Informe de resultados propiedades de la mezcla asfáltica

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
FECHA: jueves, 16 de abril de 2015
MUESTRA: Mezcla para Carpeta Asfáltica 3/4"

ELABORADO POR: Antonio Páez G.
 Alberto Valarezo
YACIMIENTO: Mina Pingulmi

PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFALTICA

G.E.CA.: 1,015												G.E. BULK AGREGADOS: 2,578						
MUESTRA #	% asf.	PESOS			VOL cm ³	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC. CA.	ESTABILIDAD				FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
		AIRE	AGUA	S.S.S.								ECT.DIAL	DIAL	F. CORR.	CORREG			
1	5,00	1195,5	684,2	1196,3	512,1	2,335						700	6651,1	1,02	6.801	8		
2		1196,8	685,1	1198,7	513,6	2,330						649	6172,3	1,02	6.277	7		
3		1196,6	679,5	1198,3	518,8	2,306						572	5447,7	1,00	5.436	11		
PROMEDIO						2,324	7,79	85,64	6,56	14,36	3,41				6.171	9	54,27	2,487
4	5,50	1193,4	686,0	1194,1	508,1	2,349						736	6988,5	1,04	7.252	11		
5		1191,6	684,0	1192,7	508,7	2,342						618	5880,8	1,04	6.089	9		
6		1192,9	686,4	1193,9	507,5	2,351						622	5918,5	1,04	6.156	12		
PROMEDIO						2,347	9,13	86,06	4,82	13,94	3,94				6.499	11	65,47	2,466
7	6,00	1188,7	689,0	1189,3	500,3	2,376						689	6547,9	1,07	6.997	12		
8		1195,0	691,5	1195,6	504,1	2,371						603	5739,7	1,05	6.046	12		
9		1196,5	691,8	1196,9	505,1	2,369						700	6651,1	1,05	6.980	12		
PROMEDIO					503,2	2,372	10,51	86,50	2,99	13,50	4,49				6.674	12	77,83	2,445
10	6,50	1191,1	692,2	1191,5	499,3	2,386						586	5579,6	1,07	5.984	12		
11		1193,5	692,8	1193,6	500,8	2,383						564	5372,3	1,07	5.730	13		
12		1180,4	684,9	1180,7	495,8	2,381						545	5193,1	1,09	5.644	13		
PROMEDIO						2,383	11,79	86,45	1,77	13,55	5,02				5.786	13	86,97	2,426
COMPROBACION																		
13	5,70	1.192,6	682,6	1.193,5	510,9	2,334						664	6313,2	1,03	6.484	13		
14		1.194,0	694,6	1.194,3	499,7	2,389						700	6651,1	1,07	7.123	14		
15		1.194,0	687,2	1.194,5	507,3	2,354						686	6519,7	1,04	6.786	13		
PROMEDIO						2,359	9,71	86,31	3,99	13,69	4,18				6.798	13	70,89	2,457

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTAS
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.27 Informe de resultados mezcla para briquetas ensayo de módulo dinámico elástico

AREA DE PAVIMENTOS PROYECTO: TESIS MINA: PINGULMI CARPETA ASFALTICA TIPO "C"

jueves 7 de mayo de 2015

TAMICES					1 "		3/4"		1/2"		Nº4		Nº8		Nº50		N' 200				
					25,4		19		12,5		4,75		2,36		0,30		0,075				
ESPECIFICACION MÁXIMA							100		100		74		58		21		10				
ESPECIFICACION MINIMA							100		90		44		28		5		2				
MEZCLA							100		95		61		48		20		7,30				
FAJA MÁXIMA							100		100		68		54		21		10				
FAJA MINIMA							100		90		54		42		15		4				
TOLERANCIA							8		8		7		6		5		3				
5200 PESO TOTAL MARTERIAL + ASFALTO																					
5,0		5,5		6,0		6,50		5,7		% DE ASFALTO										MEZCLA COMPROBACION BRIQUETAS	
260,0		286,0		312,0		338,00		296,4		PESO DE ASFALTO											
4940,00		4914,0		4888,0		4862,0		4903,6		PESO DE AGREGADO											
5200		5200		5200		5200		5200		MEZCLA TOTAL BRIQUETAS											
BRIQUETAS		%ASFALTO			5,0			5,5			6,0			6,50			5,7				
		PESO ASFALTO			260,0			286,0			312,0			338,00			296,4				
		PESO AGREGADOS			4940,0			4914,0			4888,0			4862,0			4903,6				
TAMIZ					1			2			3			4			5				
3/4"		100,0		0,00		0,0		0,00		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0			
1/2"		95		5		224,8		224,8		223,6		223,6		222,4		222,4		221,2			
3/8"		81		15		726,2		951,0		722,4		945,9		718,5		940,9		714,7			
Nº4		61		20		963,3		1914,3		958,2		1904,2		953,2		1894,1		948,1			
Nº8		48		13		662,0		2576,2		658,5		2562,7		655,0		2549,1		651,5			
Nº50		20		28		1370,9		3947,1		1363,6		3926,3		1356,4		3905,5		1349,2			
pasa Nº50		20		20		992,9		4940,0		987,7		4914,0		982,5		4888,0		977,3			
				100,0		4940,0				4914,0				4888,0				4862,0			

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.28 Informe de resultados ensayo módulo dinámico elástico asfalto normal

AC - 20 NORMAL

TEMPERATURA A 10°C						
Frecuencias (Hz)	0,1	0,5	1	5	10	25
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	8352,98598	7810,35883	8279,72117	6707,07579	6440,87108	5470,29633
	8284,01418	7810,75845	8245,04836	6164,2979	5496,69891	5726,81927
	8853,19615	8644,44122	6747,42047	5860,36577	5441,31797	4828,4764
	8416,20009	8219,06387	7053,94257	6457,96521	6204,52439	5099,22813
	8772,85862	6767,0514	8260,23262	5986,0639	6067,91101	5047,06942
TEMPERATURA A 25°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	6180,96082	5128,69339	4318,18429	2557,24788	2446,6418	1890,50079
	6777,30091	4813,82074	4369,28242	2532,55228	2475,81376	1769,07333
	6209,79087	5347,4121	4483,37405	2531,94091	2519,802	1871,84037
	5952,96205	4961,30528	4543,3908	2570,7924	2337,19256	1905,32949
	6722,6593	5138,0866	4483,86802	2554,42946	2452,99905	1916,13767
TEMPERATURA A 35°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	3827,11525	3714,17625	3303,22807	2538,82708	1085,08943	2156,57335
	4020,2801	3820,19546	3491,09129	2356,08367	1111,177	2128,45493
	4253,40523	3241,55549	3471,97947	2564,04758	1084,64203	2207,38708
	3223,46401	3649,01527	3371,39414	2492,74884	1123,57907	2149,34544
		3759,66789	3555,95261	2637,2118	1103,03526	2101,06672
TEMPERATURA A 50°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	1628,34759	1206,12183	1036,83606	522,345277	336,597062	423,805255
	1655,11564	1200,80073	1032,36997	513,444878	339,800366	420,052392
	1633,62509	1136,43494	1047,78925	508,168691	340,097261	418,690403
	1686,60498	1195,20976	1056,39126	510,454613	336,865113	418,209898
	1689,3559	1190,88796	1021,87908	524,798987	339,293095	413,089562

Fuente: Informe presentado por software utilizado para el ensayo modulo dinámico elástico P.U.C.E.

**Anexo N 5.29 Informe de resultados ensayo módulo dinámico elástico asfalto
modificado 1%**

AC - 20 + 1% DE CAUCHO

TEMPERATURA A 10°C						
Frecuencias (Hz)	0,1	0,5	1	5	10	25
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	9246,37362	7877,83274	7906,03982	8371,10182	7140,19412	5507,87331
	9277,19305	7829,496	7434,33098	8319,43868	6175,66436	5942,40386
	9907,12823	8837,53473	8748,69731	8375,56551	5959,00086	4738,7768
	8724,64651	7815,10355	9246,60848	8205,30714	5763,83632	5980,9493
	8720,64555		6747,5046	8097,1229	6041,07846	5322,78016
TEMPERATURA A 25°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	5012,35042	4298,81287	3587,2612	4019,65649	3031,85498	1213,78931
	5179,13384	4280,26259	3744,06653	3836,6413	3143,45757	1203,88347
	4827,18681	3934,14933	3564,0801	3696,06567	3360,01498	1213,66453
	5231,57659	4002,26457	3663,20363	3563,57038	3129,22733	1217,53505
	4851,45625	4160,62057	3257,82053	3428,26382	3210,85284	1225,9301
TEMPERATURA A 35°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	3862,91847	3405,84805	2785,56814	1292,13068	991,728596	2000,82197
	3481,87204	3475,23135	2788,2513	1337,36432	993,737367	2073,61899
	4247,98653	3387,22374	2699,23692	1321,12205	970,751064	1998,57795
	3928,15752	3233,99735	2685,44962	1345,14172	985,827902	1955,21898
	3951,67521	3329,34271	2788,2513	1315,57669	1009,424	2023,64504
TEMPERATURA A 50°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	1240,78792	1151,56419	674,509615	1004,46359	856,388113	275,288579
	1210,86632	1143,05787	679,177227	1018,76584	795,978472	276,299507
	1217,84796	1155,07386	688,76138	1015,34198	823,079773	276,791573
	1237,02236	1166,2941	674,36674	1002,43895	829,006459	274,828432
			691,182797	1020,2064	841,105058	275,303849

Fuente: Informe presentado por software utilizado para el ensayo modulo dinámico
elástico P.U.C.E.

**Anexo N 5.30 Informe de resultados ensayo módulo dinámico elástico asfalto
modificado 1.5%**

AC - 20 + 1,5% DE CAUCHO

TEMPERATURA A 10°C						
Frecuencias (Hz)	0,1	0,5	1	5	10	25
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	8466,88436	7192,62023	7438,41378	5466,02255	6756,27011	6238,18775
	8901,1797	7134,39419	6814,96265	5517,91566	7512,96907	6480,04251
	10085,446	5790,37445	7085,29519	7138,39325	7332,22048	6942,55842
	6896,48959	7607,51218	7443,32127	5410,75936	7094,15728	6062,76436
	10840,2922	7511,73415	8336,72796	5692,86501	7098,8061	5867,67929
TEMPERATURA A 25°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	6171,23768	5307,01465	3861,86814	2548,57491	1913,49474	1249,43056
	6464,86607	5552,08897	4346,07597	2547,75297	1952,01188	1286,31126
	6452,96024	5330,34915	3772,72238	2577,21764	1970,52073	1282,26695
	5931,86621	5552,52228	3917,17551	2542,06154	1946,20907	1289,24326
		5716,36226	3848,24474	2568,60285	1977,67167	1280,71252
TEMPERATURA A 35°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	4081,71785	2931,10476	2195,50016	1487,10785	2279,82604	564,705886
	4212,0008	3048,00459	2144,9337	1633,99293	2369,74842	570,949328
	3893,02507	3064,78259	2187,69077	1526,57867	2381,93112	572,689884
	3602,83699	3172,9542	2115,1415	1603,97924	2308,21167	563,567795
	3904,78378	3071,85649	2151,47485	1551,78388	2432,41454	566,926315
TEMPERATURA A 50°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	1754,95449	1209,81466	1024,04552	1271,33918	330,930501	953,209782
	1717,79516	1206,89696	1010,40203	1245,60422	332,42816	978,586576
	1644,93759	1168,81521	1006,48409	1180,03692	331,9699	1004,70998
	1657,76385	1189,03205	1014,60418	1254,13582	331,428096	977,098843
	1688,45538	1212,39058	1004,9909	1243,81219	330,990628	943,082759

Fuente: Informe presentado por software utilizado para el ensayo modulo dinámico elástico P.U.C.E.

**Anexo N 5.31 Informe de resultados ensayo módulo dinámico elástico asfalto
modificado 2%**

AC - 20 + 2% DE CAUCHO

TEMPERATURA A 10°C						
Frecuencias (Hz)	0,1	0,5	1	5	10	25
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	10070,4086	7040,29667	6003,79421	5674,12626	5952,48868	4287,60678
	9381,4122	7045,38961	7147,16481	6186,51067	5658,45573	4396,06356
	7569,47151	6714,86215	6027,00579	5876,0347	5909,02946	4699,69734
	8400,59031	7464,82835	6268,49138	4950,2125	6457,42994	4508,57706
	9378,19179	7819,02007	6865,82652	5742,17565	5736,96344	4578,95428
TEMPERATURA A 25°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	4696,23066	4060,91207	4165,05075	2976,32652	3372,64973	2093,91455
	4431,28681	4466,42977	3593,10357	3053,185	3324,65047	2178,97761
	4836,95133	4467,73565	3940,22769	2949,96387	3539,04593	2059,09695
	4906,09296	4232,93784	4053,70472	2881,60463	3582,7368	2158,98244
	4298,31662	4460,05604	3682,38809	3170,40051	3155,63047	2573,34655
TEMPERATURA A 35°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	2932,62943	3442,8722	2025,41274	2387,50128	1030,81241	1588,33331
	3079,56837	3460,3426	2043,05611	2259,62204	1056,62182	1599,25596
	3039,09075	3466,17625	1987,61024	2390,98996	1034,51938	1609,30151
	3047,30742	3457,77875	2035,13222	2399,02876	1061,92207	1635,40371
	3075,53148	3449,942	2053,98155	2384,00995	1042,89156	1618,95763
TEMPERATURA A 50°C						
Datos de Carga de Rigidez (MPa)	1495,43842	1160,41883	1060,38072	1535,55869	301,458929	1072,92936
	1457,63216	1153,11996	1063,99074	1518,99279	300,48895	1055,93532
	1475,15035	1160,43316	1030,70794	1485,08787	298,926893	1084,42272
	1457,29729	1188,04276	1060,35085	1503,28708	299,033387	1070,88715
	1444,74009	1155,58152	1043,14444	1512,97694	302,146651	1108,60488

Fuente: Informe presentado por software utilizado para el ensayo modulo dinámico elástico P.U.C.E.

Anexo N 5.32 Informe de resultados comparativo de mezcla asfáltica normal y modificada

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
FECHA: jueves, 16 de abril de 2015
MUESTRA: Mezcla para Carpetas Asfálticas 3/4"

ELABORADO POR: Antonio Páez G.
 Alberto Valarezo
YACIMIENTO: Mina Pingulmi

CUADRO COMPARATIVO DE LA MEZCLA ASFALTICA NORMAL Y MODIFICADA

G.E.CA.: 1,015						G.E. BULK AGREGADOS: 2,578													
MUESTRA #	% asf.	% Caucho	PESOS			VOL cm³	G.E. BULK	VOL CA.	VOL AG.	% VACIOS	% VAM	% EFEC. CA.	LECT.DIAL	ESTABILIDAD			FLUJO 0,01"	VAF	Gmm
			AIRE	AGUA	S.S.S.									DIAL	F. CORR.	CORREG			
1	5,70	0,0	1192,6	682,6	1193,5	510,9	2,334						664	6313,2	1,03	6.484	13		
2			1194,0	694,6	1194,3	499,7	2,389					700	6651,1	1,07	7.123	14			
3			1194,0	687,2	1194,5	507,3	2,354					686	6519,7	1,04	6.786	13			
PROMEDIO						506,0	2,359	9,71	86,31	3,99	13,69	4,18				6.798	13	70,89	2,457
1	5,70	1,0	1193,2	684,2	1194,8	510,6	2,337						662	6294,4	1,03	6.472	11		
2			1193,7	685,7	1195,5	509,8	2,342					694	6594,8	1,03	6.801	12			
3			1188,6	682,8	1190,6	507,8	2,341					650	6181,7	1,04	6.422	11			
PROMEDIO						509,4	2,340	9,59	85,60	4,81	14,40	4,18				6.565	11	66,58	2,458
4	5,70	1,5	1183,7	677,1	1186,0	508,9	2,326						603	5739,7	1,03	5.939	8		
5			1194,5	686,2	1195,7	509,5	2,344					722	6857,3	1,03	7.080	13			
6			1192,6	682,9	1194,3	511,4	2,332					628	5974,9	1,03	6.125	11			
PROMEDIO						509,9	2,334	9,68	85,39	4,92	14,61	4,18				6.381	11	66,30	2,455
7	5,70	2,0	1190,8	681,5	1191,9	510,4	2,333						634	6031,3	1,03	6.206	12		
8			1190,9	679,2	1192,6	513,4	2,320					598	5692,6	1,02	5.793	11			
9			1189,1	678,1	1191,8	513,7	2,315					536	5108,2	1,02	5.193	11			
PROMEDIO						512,5	2,322	9,64	84,97	5,40	15,03	4,18				5.731	11	64,09	2,455

COMPROBACION

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
PUCE

ALBERTO VALAREZO
PUCE

LABORATORISTAS
PANAVIAL S. A.

SUPERINTENDENTE
PANAVIAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.33 Informe de resultados gravedad específica de la mezcla

AREA DE PAVIMENTOS

PROYECTO: TESIS
LOCALIZACION: Provincia de Pichincha
FECHA: miércoles, 15 de abril de 2015
MUESTRA: Mezcla para Carpeta Asfáltica 3/4"

ELABORADO POR: Antonio Páez G.
 Alberto Valarezo
YACIMIENTO: Mina Pingulmi
LABORATORIO: Planta de Emulsión (Panavial S.A.)

GRAVEDADES ESPECIFICA DE LA MEZCLA

% CEMENTO ASFALTICO	Porcentaje de Caucho							
	5,00	5,50	6,00	6,50	5,70	1,00	1,50	2,00
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK MEZCLA AGREGADOS (Gsb)	2,578	2,578	2,578	2,578	2,578	2,578	2,578	2,578
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL ASFALTO (Gb.)	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015
DATOS ENSAYO RICE:								
PESO MUESTRA EN EL AIRE (Gr)	1485	1495,3	1492,1	1495,7	1496,6	1491,8	1492,9	1487,3
PESO FRASCO + AGUA) (Gr)	7979	7979	7979	7979	7979	7979	7979	7979
PESO FRASCO + AGUA + MUESTRA (Gr)	8866,8	8868	8860,9	8858,2	8866,5	8863,8	8863,9	8860,5
VOLUMEN C.C	597	606	610	617	609	607	608	606
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA DE LA MEZCLA (Gmm)	2,487	2,466	2,445	2,426	2,457	2,458	2,455	2,455
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DE LOS AGREGADOS (Gse)	2,692	2,690	2,687	2,686	2,688	2,493	2,510	2,528
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE DE LOS AGREGADOS (Gsa)	2,685	2,685	2,685	2,685	2,685	2,685	2,685	2,685
COMPROBACION:								
Gsa > Gse > Gsb	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO (Pba)	1,67	1,65	1,60	1,58	1,62	-1,33	-1,07	-0,77
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO EN MEZCLA (Pbe)	3,41	3,94	4,49	5,02	4,18	2,32	2,55	2,75

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

ANTONIO PÁEZ G.
 PUCE

ALBERTO VALAREZO
 PUCE

LABORATORISTA
 PANAVAL S. A.

SUPERINTENDENTE
 PANAVAL S.A.

Fuente: Informe realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Requerimiento para carpeta asfáltica + caucho

Especificación AASHTO TP 62-07

Temperatura a 10°C						
FRECUENCIA (Hz)	0,1	0,5	1	5	10	25
AC-20	8535,851	7850,33475	7717,27304	6235,15371	5930,26467	5234,37791
AC-20 + 1% CAUCHO	9175,19739	8089,99175	8016,63624	8273,70721	6215,95483	5498,55669
AC-20 + 1.5% CAUCHO	9038,05837	7047,32704	7423,74417	5845,19117	7158,88461	6318,24647
AC-20 + 2% CAUCHO	8960,01489	7216,87937	6462,45654	5685,81196	5942,87345	4494,1798
Temperatura a 25°C						
AC-20	6280,25367	5062,80788	4428,55789	2548,13337	2444,86253	1859,18599
AC-20 + 1% CAUCHO	5062,56192	4128,87234	3639,65286	3778,98346	3166,13871	1212,21809
AC-20 + 1.5% CAUCHO	6363,02133	5435,49376	3974,4605	2553,90176	1945,55911	1276,81301
AC-20 + 2% CAUCHO	4717,64044	4307,00383	3938,02168	2965,27	3454,77073	2122,74289
Temperatura a 35°C						
AC-20	4856,68488	3978,50345	3687,54171	2503,34695	1433,47688	2102,13826
AC-20 + 1% CAUCHO	4111,05832	3607,23093	2882,71922	1844,72022	1541,76747	1824,73725
AC-20 + 1.5% CAUCHO	4062,2479	3690,06355	2594,09234	1804,07057	2252,29431	747,264404
AC-20 + 2% CAUCHO	3337,40129	3707,36177	2434,6168	2552,12845	1569,39602	1842,55933
Temperatura 50°C						
AC-20	2168,97575	2453,90143	2249,13819	1541,4377	725,752942	1273,56745
AC-20 + 1% CAUCHO	3040,20688	2571,63475	1706,84694	1170,98696	911,904622	1132,61303
AC-20 + 1.5% CAUCHO	2745,09261	2165,38058	1575,26598	1418,17663	1350,99622	765,572617
AC-20 + 2% CAUCHO	2268,97737	2305,31489	1553,37131	1959,39754	676,690379	1345,8065

Fuente: Especificaciones AASHTO TP 69-07

Anexo N 5.35 Cálculo salario real operador de terminadora de asfalto

Cálculo Salario Real		
Operador de terminadora de asfalto		
Diario:	25,72	\$
Salario nominal Semanal	128,60	\$
Salario Nominal Diario	18,37	\$
Salario Nominal Mensual	551,14	\$
Básico:	372,30	\$
Códio del Trabajo		Mensual
Décimo tercer sueldo	551,14	45,93 \$
Décimo cuarto sueldo	372,30	31,03 \$
Vacaciones	275,57	22,96 \$
IESS		
Aporte Patronal	61,45	\$
Fondo de Reserva	45,91	\$
SECAP	2,76	\$
IECE	2,76	\$
SALARIO REAL MENSUAL	763,93	\$
Factor Salario Real	1,39	
Salario real al año:	9167,22	\$
1.- Jornada laboral 8 Horas		
2. 365 días al año menos 52 sábados y domingos y 10 días festivos		
Total día laborables al año:	251	Días
Número de horas laborables al año:	2008	Horas/año
SALARIO REAL HORARIO:	4,57	\$

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.36 Cálculo salario real operador de cargadora

Cálculo Salario Real		
Operador de cargadora		
Diario:	27,03	\$
Salario nominal Semanal	135,15	\$
Salario Nominal Diario	19,31	\$
Salario Nominal Mensual	579,21	\$
Básico:	392,36	\$
Códio del Trabajo		Mensual
Décimo tercer sueldo	579,21	48,27 \$
Décimo cuarto sueldo	392,36	32,70 \$
Vacaciones	289,61	24,13 \$
IESS		
Aporte Patronal	64,58	\$
Fondo de Reserva	48,25	\$
SECAP	2,90	\$
IECE	2,90	\$
SALARIO REAL MENSUAL	802,94	\$
Factor Salario Real	1,39	
Salario real al año:	9635,23	\$
1.- Jornada laboral 8 Horas		
2. 365 días al año menos 52 sábados y domingos y 10 días festivos		
Total día laborables al año:	251	Días
Número de horas laborables al año:	2008	Horas/año
SALARIO REAL HORARIO:	4,80	\$

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.37 Cálculo salario real inspector de obra

Cálculo Salario Real		
Inspector de Obra		
Diario:	27,07	\$
Salario nominal Semanal	135,35	\$
Salario Nominal Diario	19,34	\$
Salario Nominal Mensual	580,07	\$
Básico:	393,04	\$
Códio del Trabajo	Mensual	
Décimo tercer sueldo	580,07	48,34 \$
Décimo cuarto sueldo	393,04	32,75 \$
Vacaciones	290,04	24,17 \$
IESS		
Aporte Patronal	64,68	\$
Fondo de Reserva	48,32	\$
SECAP	2,90	\$
IECE	2,90	\$
SALARIO REAL MENSUAL	804,13	\$
Factor Salario Real	1,39	
Salario real al año:	9649,59	\$
1.- Jornada laboral 8 Horas		
2. 365 días al año menos 52 sábados y domingos y 10 días festivos		
Total día laborables al año:	251	Días
Número de horas laborables al año:	2008	Horas/año
SALARIO REAL HORARIO:	4,81	\$

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.38 Cálculo salario real operador de planta asfáltica

Cálculo Salario Real		
Operador de Planta Asfáltica		
Diario:	25,72	\$
Salario nominal Semanal	128,60	\$
Salario Nominal Diario	18,37	\$
Salario Nominal Mensual	551,14	\$
Básico:	372,30	\$
Códio del Trabajo		Mensual
Décimo tercer sueldo	551,14	45,93 \$
Décimo cuarto sueldo	372,30	31,03 \$
Vacaciones	275,57	22,96 \$
IESS		
Aporte Patronal	61,45	\$
Fondo de Reserva	45,91	\$
SECAP	2,76	\$
IECE	2,76	\$
SALARIO REAL MENSUAL	763,93	\$
Factor Salario Real	1,39	
Salario real al año:	9167,22	\$
1.- Jornada laboral 8 Horas		
2. 365 días al año menos 52 sábados y domingos y 10 días festivos		
Total día laborables al año:	251	Días
Número de horas laborables al año:	2008	Horas/año
SALARIO REAL HORARIO:	4,57	\$

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.39 Cálculo salario real peón

Cálculo Salario Real			
Peón			
Diario:	22,37	\$	
Salario nominal Semanal	111,85	\$	
Salario Nominal Diario	15,98	\$	
Salario Nominal Mensual	479,36	\$	
Básico:	351,70	\$	
Códio del Trabajo		Mensual	
Décimo tercer sueldo	479,36	39,95	\$
Décimo cuarto sueldo	351,70	29,31	\$
Vacaciones	239,68	19,97	\$
IESS			
Aporte Patronal		53,45	\$
Fondo de Reserva		39,93	\$
SECAP		2,40	\$
IECE		2,40	\$
SALARIO REAL MENSUAL		666,76	\$
Factor Salario Real		1,39	
Salario real al año:		8001,09	\$
1.- Jornada laboral 8 Horas			
2. 365 días al año menos 52 sábados y domingos y 10 días festivos			
Total día laborables al año:		251	Días
Número de horas laborables al año:		2008	Horas/año
SALARIO REAL HORARIO:		3,98	\$

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.40 Cálculo salario real operador calderista

Cálculo Salario Real		
Operador Calderista		
Diario:	27,03	\$
Salario nominal Semanal	135,15	\$
Salario Nominal Diario	19,31	\$
Salario Nominal Mensual	579,21	\$
Básico:	392,36	\$
Códio del Trabajo		Mensual
Décimo tercer sueldo	579,21	48,27 \$
Décimo cuarto sueldo	392,36	32,70 \$
Vacaciones	289,61	24,13 \$
IESS		
Aporte Patronal	64,58	\$
Fondo de Reserva	48,25	\$
SECAP	2,90	\$
IECE	2,90	\$
SALARIO REAL MENSUAL	802,94	\$
Factor Salario Real	1,39	
Salario real al año:	9635,23	\$
1.- Jornada laboral 8 Horas		
2. 365 días al año menos 52 sábados y domingos y 10 días festivos		
Total día laborables al año:	251	Días
Número de horas laborables al año:	2008	Horas/año
SALARIO REAL HORARIO:	4,80	\$

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.41 Cálculo salario real operador rodillo autopropulsado

Cálculo Salario Real		
Operador Rodillo Autopropulsado		
Diario:	25,72	\$
Salario nominal Semanal	128,60	\$
Salario Nominal Diario	18,37	\$
Salario Nominal Mensual	551,14	\$
Básico:	372,30	\$
Códio del Trabajo		Mensual
Décimo tercer sueldo	551,14	45,93 \$
Décimo cuarto sueldo	372,30	31,03 \$
Vacaciones	275,57	22,96 \$
IESS		
Aporte Patronal	61,45	\$
Fondo de Reserva	45,91	\$
SECAP	2,76	\$
IECE	2,76	\$
SALARIO REAL MENSUAL	763,93	\$
Factor Salario Real	1,39	
Salario real al año:	9167,22	\$
1.- Jornada laboral 8 Horas		
2. 365 días al año menos 52 sábados y domingos y 10 días festivos		
Total día laborables al año:	251	Días
Número de horas laborables al año:	2008	Horas/año
SALARIO REAL HORARIO:	4,57	\$

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.42 Cálculo salario real ayudante de maquinaria

Cálculo Salario Real		
Ayudante de Maquinaria		
Diario:	24,37	\$
Salario nominal Semanal	121,85	\$
Salario Nominal Diario	17,41	\$
Salario Nominal Mensual	522,21	\$
Básico:	351,70	\$
Códio del Trabajo		Mensual
Décimo tercer sueldo	522,21	43,52 \$
Décimo cuarto sueldo	351,70	29,31 \$
Vacaciones	261,11	21,76 \$
IESS		
Aporte Patronal	58,23	\$
Fondo de Reserva	43,50	\$
SECAP	2,61	\$
IECE	2,61	\$
SALARIO REAL MENSUAL	723,75	\$
Factor Salario Real	1,39	
Salario real al año:	8684,99	\$
1.- Jornada laboral 8 Horas		
2. 365 días al año menos 52 sábados y domingos y 10 días festivos		
Total día laborables al año:	251	Días
Número de horas laborables al año:	2008	Horas/año
SALARIO REAL HORARIO:	4,33	\$

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.43 Análisis de precios unitarios (APU) asfalto normal

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)					
Proyecto:	TESIS				
Elaborado por:	Antonio Páez, Alberto Valarezo				
Rubro:	450-5			Fecha:	27/04/2015
Descripción:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta e=7,5cm			Código:	1
				Unidad:	m²
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Precio/Hora C = A * B	Rendimiento D	Costo Total E = C*D
Grupo Electrógeno	1	22,81	22,81	0,005128	0,12
Cargadora frontal (220 HP)	1	62,06	62,06	0,005128	0,32
Rodillo Vibrador Liso asfalto (112 HP)	1	36,09	36,09	0,005128	0,19
Rodillo Neumático (87 HP)	1	40,04	40,04	0,005128	0,21
Terminadora de Asfalto	1	80,4	80,4	0,005128	0,41
Planta Asfáltica	1	200	200	0,005128	1,03
Herramientas manuales 5%	1,11	0,26	0,29	0,0000000	0,01
SUBTOTAL M					2,27
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad A	Precio/Uni B	Costo Total C = A*B
Asfalto AC -20 (Emeraldas)		galones	3,04	0,9	2,74
Diesel		galones	0,8	0,94	0,75
Materiales Pétreos		m3	0,078	8,33	0,65
SUBTOTAL N					4,14
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad A	Jornal B	Precio/Hora C = A * B	Rendimiento D	Costo Total E = C*D
Operador de terminadora de asfalto	1	4,57	4,57	0,005128	0,023
Operador de cargadora	1	4,80	4,80	0,005128	0,025
Inspector de Obra	1	4,81	4,81	0,005128	0,025
Operador de Planta Asfáltica	1	4,57	4,57	0,005128	0,023
Peón	14	3,98	55,78	0,005128	0,286
Operador Calderista	2	4,80	9,60	0,005128	0,049
Operador Rodillo Autopropulsado	2	4,57	9,13	0,005128	0,047
Ayudante de Maquinaria	2	4,33	8,65	0,005128	0,044
SUBTOTAL O					0,523
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad		Cantidad A	Precio/Hora B	Costo Total C = A*B
Trasporte de asfalto	ton-km		5,85	0,15	0,88
					0,00
					0,00
SUBTOTAL P					0,88
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTO DIRECTO(M+N+O+P)				7,81
	INDIRECTO Y UTILIDADES			21,00%	1,64
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				9,45
	VALOR PRESUPUESTADO				9,45

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación

Anexo N 5.44 Análisis de precios unitarios (APU) asfalto modificado

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)					
Proyecto:	TESIS				
Elaborado por:	Antonio Páez, Alberto Valarezo				
Rubro:	450-5			Fecha:	27/04/2015
Descripción:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta e=7,5cm con asfalto modificado			Código:	1
				Unidad:	m²
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Precio/Hora C = A * B	Rendimiento D	Costo Total E = C*D
Grupo Electrógeno	1	22,81	22,81	0,005128	0,12
Cargadora frontal (220 HP)	1	62,06	62,06	0,005128	0,32
Rodillo Vibrador Liso asfalto (112 HP)	1	36,09	36,09	0,005128	0,19
Rodillo Neumático (87 HP)	1	40,04	40,04	0,005128	0,21
Terminadora de Asfalto	1	80,4	80,4	0,005128	0,41
Planta Asfáltica	1	200	200	0,005128	1,03
Herramientas manuales 5%	1,11	0,26	0,29	0,0000000	0,01
SUBTOTAL M					2,27
MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad A	Precio/Uni B	Costo Total C = A*B
Asfalto AC -20 (Emeraldas)		galones	3,04	0,9	2,74
Diesel		galones	0,8	0,94	0,75
Materiales Pétreos		m3	0,078	8,33	0,65
Caucho Pulverizado al 2%		kg	0,233	0,25	0,06
SUBTOTAL N					4,20
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad A	Jornal B	Precio/Hora C = A * B	Rendimiento D	Costo Total E = C*D
Operador de terminadora de asfalto	1	4,57	4,57	0,005128	0,023
Operador de cargadora	1	4,80	4,80	0,005128	0,025
Inspector de Obra	1	4,81	4,81	0,005128	0,025
Operador de Planta Asfáltica	1	4,57	4,57	0,005128	0,023
Peón	14	3,98	55,78	0,005128	0,286
Operador Calderista	2	4,80	9,60	0,005128	0,049
Operador Rodillo Autopropulsado	2	4,57	9,13	0,005128	0,047
Ayudante de Maquinaria	2	4,33	8,65	0,005128	0,044
SUBTOTAL O					0,523
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad		Cantidad A	Precio/Hora B	Costo Total C = A*B
Trasporte de asfalto	ton-km		5,85	0,15	0,88
					0,00
					0,00
SUBTOTAL P					0,88
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTO DIRECTO(M+N+O+P)				7,87
	INDIRECTO Y UTILIDADES			21,00%	1,65
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				9,52
	VALOR PRESUPUESTADO				9,52

Fuente: Cálculo realizado por los estudiantes autores de la presente disertación